



# ELABORACIÓN DE UN PROTOCOLO PARA EL MUESTREO EN EL SEGUIMIENTO DE REPOBLACIONES FORESTALES

*Máster Universitario en Restauración de Ecosistemas*

Presentado por:

D. Brais Hermosilla Lorenzo

Tutor Director:

D<sup>a</sup>. María Melero de Blas

Dr. D. Juan Antonio Oliet Palá

Alcalá de Henares, 30 de septiembre de 2016



# INDICE

RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. OBJETIVOS.....	6
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	7
3.1. Información de partida para el diseño del protocolo.....	7
3.1.1. Antecedentes de muestreo.....	10
3.2. Cálculo y discusión de la intensidad de muestreo.....	11
3.2.1. Cálculo del tamaño de muestra.....	11
3.2.2. Especie Principal Menos Representada (EPMR).....	15
3.2.3. Mortalidad esperada.....	15
3.2.4. Validación de la metodología.....	16
4. DESARROLLO DEL TRABAJO: PROTOCOLO DE MUESTREO.....	17
4.1. Caracterización de la de la plantación.....	17
4.1.1. Fichas de plantación.....	17
4.1.2. Cartografía de la plantación.....	18
4.1.3. Variables de muestreo.....	19
4.2. Determinación del tamaño de muestra.....	21
4.2.1. Porcentaje de representación (EPMR).....	21
4.2.2. Mortalidad.....	23
4.2.3. Consideraciones generales.....	24
4.3. ¿En qué época se debe muestrear?.....	26
4.4. ¿Con qué frecuencia se debe muestrear?.....	27
4.5. ¿Como se deben muestrear las variables? Diseño de las unidades de muestreo.....	28
4.5.1. Consideraciones acerca del tipo de muestreo.....	28
4.5.2. Transectos.....	29
4.5.3. Plantaciones con reparto homogéneo de la densidad.....	31
4.5.4. Plantaciones con baja densidad.....	35
4.5.5. Referenciación espacial.....	36
4.6. Discusión.....	39
5. CONCLUSIONES.....	40
6. BIBLIOGRAFÍA.....	41
7. ANEXOS.....	44
Anexo I. Tablas de datos de las plantaciones.....	44
Anexo II. Datos de validación de la metodología.....	54
Anexo III. Estadillo de campo.....	55
Anexo IV. Protocolo de cálculo de los tamaños de muestra.....	56
Anexo V. Cálculo de los estimadores.....	58
Anexo VI. Tabla t de Student.....	62
Anexo VII. Tabla de Valores $\alpha_2$ de la ley Normal.....	63
Anexo VIII. Ley Binomial.....	64
Anexo IX. Documentación complementaria.....	66

## RESUMEN

En el presente documento se desarrolla un protocolo de muestreo de plantaciones forestales que pretende ofrecer una herramienta válida para su seguimiento en el corto-medio plazo. Actualmente, los planes de seguimiento de plantaciones forestales presentan carencias en el diseño metodológico, lo que origina que exista una gran variación y subjetividad en el procedimiento de toma de datos. Estas plantaciones, por sus características, presentan dificultades para ser evaluadas mediante métodos tradicionales de inventario forestal, dando lugar a datos poco representativos y que presentan dificultades para ser tenidos en cuenta en el proceso de toma de decisiones. El análisis realizado se ha centrado en evaluar los resultados obtenidos por WWF en el seguimiento realizado sobre las plantaciones que ha realizado desde la consideración del error de muestreo y el tamaño de muestra como elementos centrales del muestreo. A partir de este análisis se han desarrollado unos criterios y recomendaciones que permitan mejorar la obtención de datos en las actuaciones de restauración forestal futuras de WWF, generando una metodología de muestreo aplicable a proyectos de restauración similares.

## ABSTRACT

This document develops a forestal restoration sampling protocol, which provides an useful tool for monitoring these type of plantations in the short-medium term. Nowadays, forestal restoration's monitoring plans show many deficiencies in their methological design, which leads to a great variation and a potencial bias in collecting data procedure. This type of plantations have peculiar features that prevent them from being correctly evaluated by methods used in forestal inventory, giving room to unrepresentative data hardly taken into account in decision-making process. The analysis developed has brought WWF's monitoring results into focus, having a breakdown from the point of view of sampling size and sampling error. Based on this some criteria and recommendations have been given to improve data's collection in WWF's future forestal restorations and broaden this methology to similar restoration projects.

# 1. INTRODUCCIÓN

La evaluación de los efectos de la restauración es clave para trasladar a la práctica los avances en la ciencia y la tecnología de la restauración, para ayudar a los gestores a aprender de lo realizado en el pasado y para adaptar las estrategias y las técnicas de la restauración en respuesta a la variación en las condiciones socioeconómicas y ambientales (*Bautista y Alloza, 2009*). Sin embargo, la evaluación de la restauración en el tiempo (el seguimiento) es una tarea compleja, que exige la medida de variables que reflejen la calidad ecológica de los sistemas en restauración de forma cuantificable, con objeto de analizar el proceso y sus cambios sobre una base objetiva (*Ocampo-Melgar et al., 2016*). Cuando la restauración incluye labores de restauración activas, como la realización de plantaciones, el seguimiento se debe basar, entre otros aspectos, en la medida de atributos de la vegetación implantada, así como de los efectos de dicha vegetación sobre el medio. En bosques mediterráneos, los efectos de la vegetación introducida sobre variables como la fertilidad del suelo son lentos, no existiendo cambios significativos a corto y medio plazo (*Cuesta et al., 2012*). Durante los primeros años a partir de la plantación, una de las variables generalmente medida es la respuesta de la vegetación implantada, evaluada como la supervivencia y el crecimiento, ya que aquella se produce a un ritmo que permite distinguir cambios significativos en periodos cortos. Asimismo, conocer la respuesta de la vegetación introducida es interesante porque dicha vegetación afectará a propiedades del sistema en restauración a más largo plazo, por lo que el seguimiento de dicha respuesta, aunque a corto plazo, permitirá anticipar la capacidad transformadora de dicha vegetación.

El desarrollo de metodologías fiables y específicas para la estimación de los atributos de supervivencia y crecimiento de plantaciones es fundamental para monitorizar la respuesta en el tiempo de dichas plantaciones. Los protocolos publicados carecen de nivel de detalle que permita su aplicación inmediata a casos reales (*Steindfeld et al., 2007; Carabassa et al., 2015*). Es necesario desarrollar protocolos de muestreo que sirvan al seguimiento de plantaciones realizadas por siembra o plantación de especies leñosas. Actualmente no existe ningún manual que explique los métodos de muestreo en este tipo de plantaciones forestales, lo que hace que el seguimiento se realice utilizando criterios del inventario forestal o derivados de la experiencia del personal técnico. Las metodologías que se han desarrollado en repoblaciones en el ámbito forestal sirven al único objetivo de la estimación de marras al primer o primeros años de la plantación, con



objeto de cuantificar las necesidades de reposición. Dichas metodologías no establecen límites de precisión de la estimación, y no están descritas con suficiente nivel de detalle, especialmente en lo que respecta a las relaciones entre el esfuerzo de muestreo y el error relativo de las estimaciones (*Serrada Hierro, 2000*).

Las repoblaciones forestales que se realizan con el propósito de restauración se caracterizan por el empleo de varias especies, por la disposición espacial de los individuos y por la necesidad de evaluar el éxito a través de la supervivencia, una variable categórica con una distribución diferente al de otras variables cuantitativas. Estos aspectos tienen implicaciones sobre la metodología a emplear para su muestreo, particularmente en lo que respecta a la definición de un esfuerzo mínimo basado en valores de precisión de la estimación razonables para las distintas especies y en la agrupación de los individuos para su medición. En el presente trabajo se desarrolla un protocolo para el muestreo de repoblaciones forestales realizadas por la organización WWF centrado en la monitorización de la supervivencia y el crecimiento a corto y medio plazo.

Para trabajar en el aumento y mejora de estos ecosistemas , WWF, organización sin ánimo de lucro de conservación de la naturaleza, posee un “Programa de Bosques” que tiene varias líneas de acción enfocadas a la mejora del ámbito forestal, como el estudio de los incendios forestales, la promoción de la certificación forestal, la protección de zonas forestales y la realización de proyectos de restauración. En este último ámbito están realizando grandes esfuerzos desde el año 1989, desarrollando actividades de restauración forestal en diferentes proyectos repartidos por toda la geografía peninsular. Más concretamente, su acción plantadora se ha centrado en la restauración de hábitats de gran interés y de zonas afectadas por los incendios forestales (*WWF, Sede web*).

Por ello, desde la ONG se pretende desarrollar un documento que adapte las herramientas del muestreo forestal a las características y necesidades que presentan las plantaciones que han desarrollado en estos últimos 17 años. En este documento se ofrece información práctica y resolutive que permita evaluar el desempeño de las plantaciones forestales respecto a unos objetivos de restauración en el corto-medio plazo.

## 2. OBJETIVOS

El **objetivo general** de este documento es dotar de una herramienta para la medición y el seguimiento de las plantaciones desarrolladas por WWF en sus primeras etapas, a lo largo de los primeros 10 años de vida. El seguimiento se centrará en la evaluación del éxito de las actuaciones de revegetación mediante la estima de la supervivencia y el crecimiento de las plantas introducidas

Los **objetivos específicos** del trabajo son:

Definir las características que debe reunir el muestreo de estas plantaciones forestales en sus etapas más tempranas, ofreciendo soluciones para este tipo de restauraciones caracterizadas, en general, por un objetivo protector, una importante variabilidad en la composición específica y técnicas de preparación del terreno de bajo impacto.

Generar una metodología de seguimiento de plantaciones forestales aplicable a proyectos de restauración similares emprendidos por otras entidades (otras ONGs, administraciones públicas, etc.).

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. *Información de partida para el diseño del protocolo*

Para la realización de este documento se han tomado como referencia los datos y las experiencias recogidas por WWF en los seguimientos de los proyectos de restauración forestal que ha realizado en la Península Ibérica desde el año 1989. El seguimiento realizado por la organización comenzó en el año 2009 y se ha centrado en tres variables: supervivencia, crecimiento en altura y crecimiento en diámetro. Los muestreos se han organizado mediante la ordenación espacial de los individuos dentro de agrupaciones, más concretamente parcelas circulares y transectos lineales. La periodicidad de muestreo ha sido variable y se ha distribuido con un muestreo en el año de plantación y los años 1, 2, 4, 6 y 10 a partir de esa fecha. Las labores de seguimiento han sido realizadas, bien directamente por el personal técnico de la organización, bien con la ayuda de voluntarios y/o población local en el marco de actividades de participación y sensibilización. Todo ello ha dado lugar a una gran cantidad de datos que es de gran utilidad en la elaboración del protocolo de muestreo, ya que suministra información relevante para el cálculo de los errores de muestreo en función del tamaño de muestra y de las curvas de supervivencia de las plantaciones. Y todo ello bajo condiciones ambientales y de ejecución variadas, lo que permite un rango amplio de características para la modelización.

De toda la información recogida por WWF durante estos años se ha seleccionado un número limitado de proyectos que cumplieran, con cierta flexibilidad, ciertos requisitos:

- Superficie de la plantación: se han priorizado aquellas plantaciones con una superficie mayor de dos hectáreas. El tamaño de muestra en esos proyectos suele ser pequeño y la información en la mayoría de los casos poco precisa. Por lo general, obtener información precisa de superficies más pequeñas exige intensidades de muestreo muy altas que no compensan por la entidad del proyecto a caracterizar.
- Reposición de marras: la presencia de reposiciones de marras complica la realización de cálculos estadísticos porque varía sustancialmente los valores de crecimiento y supervivencia, con lo que se han priorizado aquellas plantaciones sin reposiciones de marras.

- Datos disponibles: el seguimiento de las plantaciones no se ha realizado de forma sistemática, sino que las características de los muestreos han sido definidas en función de los recursos disponibles en cada momento. Esto hace que la muestra de datos sea muy heterogénea y se hayan tenido que rechazar plantaciones con intermitencias de los muestreos en el tiempo, con una cantidad baja de datos o con una variabilidad muy alta, entre otros.

Finalmente, se seleccionaron 10 proyectos con una alta variabilidad en factores como la densidad de plantación, la fecha de plantación y el método de muestreo, entre otros (Tabla 1).

Proyecto	Provincia	Extensión (ha)	Año de plantación	Densidad de plantación (plantas/ha)	Agrupación unidades de muestreo	Extensión de la parcela/ transecto	Número de parcelas/ transectos	Último año de muestreo	Media Supervivencia (%)	Error Supervivencia (%)	Media Altura (cm)	Error Altura (%)	Media Diámetro (cm)	Error Diámetro (%)
Cerro de Belén	Cáceres	2,1	2009	1800	Parcelas	20 m <sup>2</sup>	19	2011	45	33	41.77	43.6	0.4	49.4
Monte El Madroño 2012	Murcia	6	2012	550	Transectos	20 indiv.	3	2015	80		33.87	23.6	3.6	16.7
Monte El Madroño 2014	Murcia	4,6	2014	550	Transectos	20 indiv.	3	2015	75		24.28	19.5	3.2	14.8
Monte da Chaira	Ourense	10,5	2012	280	Parcelas	434 m <sup>2</sup>	9	2015	29	44	93.24	24.7	8.9	19.0
Entrambasaguas	Ciudad Real	8	2014	800	Parcelas	314 m <sup>2</sup>	8	2015	77	35	26.97	20.8	0.3	17.0
Prado Ancho	Ciudad Real	9,6	2014	960	Parcelas	615,4 m <sup>2</sup>	5	2015	50	33	20.90	17.0	2.5	18.1
Sabinar de Casares	Guadalajara	17,3	2006	750	Parcelas	201 m <sup>2</sup>	16	2014	37	22	27.80	6.9	0.5	29.3
Maleza	Madrid	2,3	2007	850	Parcelas	201 m <sup>2</sup>	3	2013	69	61	44.58	46.7	0.5	47.4
Las Serrezuelas	Segovia	2	2013	1100	Transectos	45 indiv.	3	2015	44	54	21.75	28.0	0.4	17.6
Miño	A Coruña	1,9	2013	420	Parcelas	380 m <sup>2</sup>	2	2015	82	51	177.42	38.4	19.8	50.0

Tabla 1: Tabla resumen de los proyectos analizados

### 3.1.1. Antecedentes de muestreo

Antes de comenzar con la redacción del protocolo en sí, merece la pena realizar una reflexión sobre las características de los muestreos que ha desarrollado WWF hasta la fecha para identificar sus carencias y así poder realizar una propuesta que mejore la calidad y eficiencia de los seguimientos realizados sobre plantaciones forestales:

- No se ha realizado la identificación de las plantas que conforman las agrupaciones de muestreo inmediatamente después de los trabajos de plantación y reposición de marras. Los primeros muestreos no se han realizado hasta un año después, lo que origina problemas de identificación de las especies a las que pertenecen las marras, con la consecuente pérdida de datos.
- El diseño de muestreo se ha realizado sin utilizar criterios homogéneos entre plantaciones, los factores utilizados en la toma de decisiones han sido: área de plantación, densidad de plantación y morfología de plantación. Sin embargo, no se ha tenido en cuenta, por ejemplo, la composición específica de las plantaciones, uno de los factores más importantes. De la misma forma, el número y tamaño de las agrupaciones de muestreo no se ha decidido siguiendo criterios homogéneos entre plantaciones.
- El tamaño de muestra utilizado ha sido igual para todas las variables (*Supervivencia*, *Altura* y *Diámetro*), al margen de su variabilidad. Además, no se ha tenido en cuenta la mortalidad, que conforme avanza el tiempo va reduciendo la cantidad de datos disponibles en la plantación, afectando en especial a las variables *Altura* y *Diámetro*. Debido a las acusadas mortalidades que se producen en los primeros años en las forestaciones de ambientes mediterráneos los datos obtenidos del muestreo pueden disminuir hasta un 42% para el segundo año de plantación (Rey Benayas, 1997).
- La época de muestreo ha estado comprendida entre los meses de mayo y septiembre, lo que origina una gran variabilidad en los resultados de muestreo antes y después del periodo estival.
- En el replanteo de las agrupaciones de muestreo no se han considerado correcciones por la pendiente del terreno o por la ubicación de agrupaciones en el borde de la superficie de plantación.

## 3.2. *Cálculo y discusión de la intensidad de muestreo*

### 3.2.1. Cálculo del tamaño de muestra

Uno de los aspectos claves para optimizar la eficiencia del muestreo es la determinación del tamaño de muestra (intensidad o esfuerzo de muestreo) necesario para conseguir una precisión determinada con una probabilidad fiducial también definida (Bertomeu, 2011). El objetivo del procesado de esta información procedente del seguimiento anterior de los proyectos es caracterizar la variabilidad de la supervivencia y del crecimiento, a partir de la cual podrá hacerse la estimación del tamaño de muestra exigido para una precisión definida. El criterio empleado ha sido agrupar la información por especie y calcular los estadísticos para las variables altura, diámetro y supervivencia sobre esta base.

Previamente se ha realizado una ordenación de los datos de los proyectos seleccionados mediante la creación de una base de datos, donde se recogen las características más importantes de cada plantación: la densidad de plantación, el tipo y número de agrupaciones de muestreo utilizadas o las mejoras de establecimiento, entre otras.

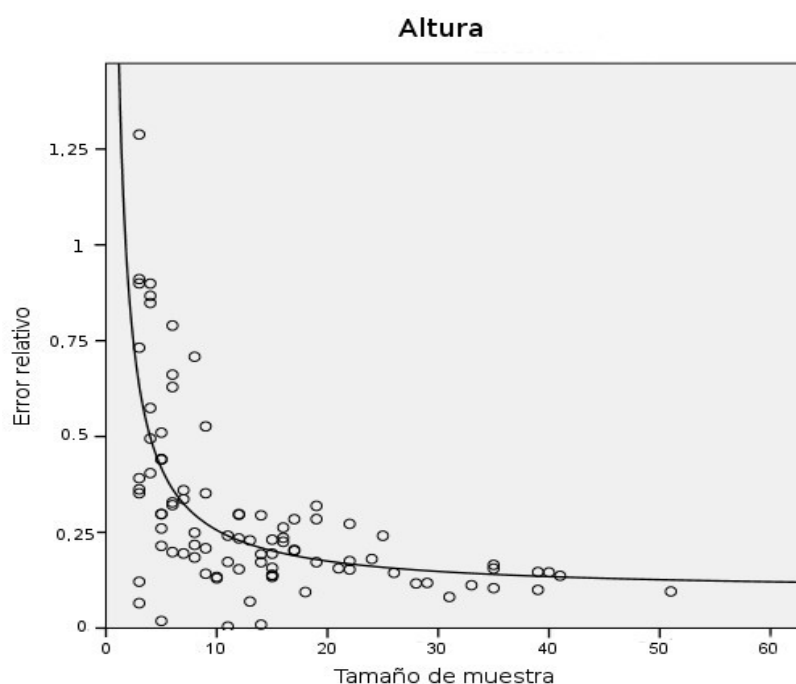
Posteriormente se han creado unas tablas en las que se han separado los datos por año de muestreo y en función de las 3 variables analizadas: *Supervivencia*, *Crecimiento en altura* y *Crecimiento en diámetro* (Anexo I). Dentro de estas tablas se han clasificado los individuos según especie. A modo de resumen se puede observar en la Tabla 1 alguna de las características y resultados más importantes del tratamiento de datos.

En estas tablas se han calculado varios estimadores estadísticos básicos, tales como: media aritmética, desviación típica, coeficiente de variación, error absoluto y error relativo. Los valores de error absoluto se han dado con una probabilidad fiducial del 95% (Bertomeu *et al*, 2011). Es decir, los datos de cada especie en un año y un proyecto concretos constituyen un estudio de caso que se ha empleado para el modelo de predicción del error relativo. Se ha enfrentado así la información de tamaño de muestra (número de individuos de una especie en año y proyecto concretos) frente al error relativo de muestreo con una probabilidad fiducial del 95 %.

Los datos obtenidos de estas tablas se han utilizado para estimar la intensidad de muestreo que permita acotar la precisión dentro de valores admisibles, explorando las relaciones entre el tamaño de muestra y el error de muestreo. En este caso, para este tipo

de forestaciones en la que la estimación de los atributos de la vegetación no está ligada directamente a recursos económicos directos se ha seleccionado un error relativo del 30% con una probabilidad fiducial del 95% como adecuado para obtener unos resultados fiables (De la Hoz *et al.*, 2005). A partir de las ecuaciones obtenida de la regresión de cada variable se ha podido averiguar el tamaño de muestra necesario para obtener dicho error relativo. A continuación se presentan los datos obtenidos empleando el programa estadístico *SPSS Statistics 24.0*:

### ALTURA



### ANOVA

#### Resumen del modelo

	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión					2,076	1	2,076	60,271	,000
Residuo					3,031	88	,034		
Total					5,107	89			

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
	B	Error estándar	Beta	t	Sig.
1 / Tamaño de muestra	1,617	,208	,638	7,763	,000
(Constante)	,094	,033		2,873	,005

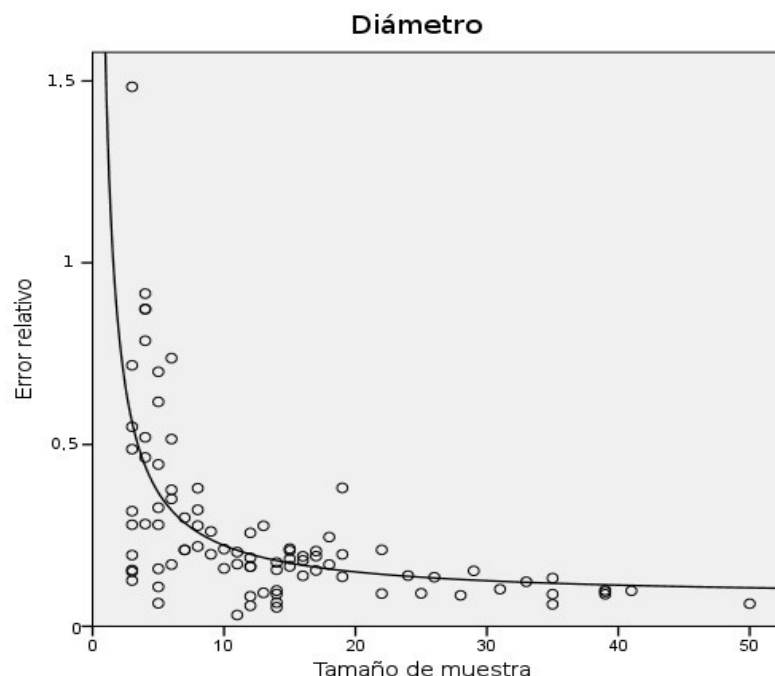
*Ilustración 1: Cálculo de tamaño de muestra para la variable Altura*

La regresión de la variable *Altura* se ha realizado con un total de 90 casos, excluyendo los tamaños muestrales menores de 3, los cuales presentaban valores atípicos debido a su bajo tamaño. El modelo sigue una regresión inversa en con un coeficiente de determinación bajo, de 0,4. El Análisis de la Varianza (ANOVA) sugiere fuertes evidencias



de que existe una relación entre las variables Error relativo y Tamaño de muestra analizadas, al ser su significación  $<0,05$ . Mediante la ecuación de regresión se obtiene un valor mínimo de 7.84 individuos para obtener un error relativo del 30%.

#### DIÁMETRO:



#### ANOVA

Resumen del modelo				Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Regresión	1,788	1	1,788	47,332	,000
				Residuo	3,324	88	,038		
				Total	5,111	89			
,591	,350	,342	,194						

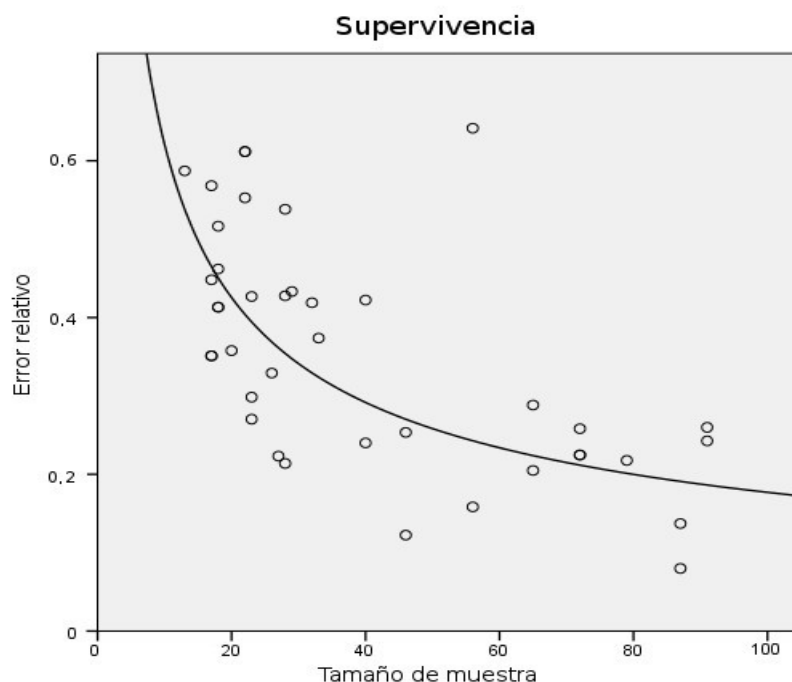
Coeficientes no estandarizados			Coeficientes estandarizados		
B	Error estándar		Beta	t	Sig.
1 / Tamaño de muestra	1,455	,212	,591	6,880	,000
(Constante)	,077	,034		2,244	,027

*Ilustración 2: Cálculo de tamaño de muestra para la variable Diámetro*

Al igual que en la variable *Altura*, la regresión de la variable *Diámetro* se ha realizado con 90 casos, excluyendo los tamaños muestrales menores a 3 debido a los valores atípicos que presentaban. El modelo de regresión es de tipo inverso en con un coeficiente de determinación menor que el de la variable *Altura*, de 0,34. El ANOVA sugiere fuertes evidencias de que existe relación entre las variables Error relativo y Tamaño de muestra, al ser su significación  $<0,05$ . Mediante la ecuación de regresión se obtiene un valor

mínimo de 6.52 individuos para obtener un error relativo del 30%.

### SUPERVIVENCIA:



### ANOVA

Resumen del modelo				Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Regresión	4,074	1	4,074	31,705	,000
				Residuo	4,883	38	,128		
				Total	8,957	39			

Coeficientes no estandarizados			Coeficientes estandarizados		
	B	Error estándar	Beta	t	Sig.
ln(Tamaño de muestra)	-,545	,097	-,674	-5,631	,000
(Constante)	2,178	,751		2,899	,006

*Ilustración 3: Cálculo de tamaño de muestra para la variable Supervivencia*

Para la regresión de la variable Supervivencia se han utilizado 40 casos, teniendo en cuenta únicamente los valores de supervivencia tipificados como “muestras grandes” (ver Anexo V). Aquellos casos tipificados como muestras pequeñas han quedado fuera de este análisis, dado que deben ser analizados siguiendo la ley Binomial (Anexo VIII). El modelo de regresión es de tipo potencial, con un coeficiente de determinación de 0,44. El ANOVA sugiere fuertes evidencias de que existe relación entre las variables Error relativo y Tamaño de muestra, al ser su significación  $<0,05$ . Mediante la ecuación de regresión se obtiene un valor mínimo de 38 individuos para obtener un error relativo del 30%.

### 3.2.2. Especie Principal Menos Representada (EPMR)

Debido a la naturaleza de las plantaciones de WWF, con una alta variedad de especies, el tamaño de la muestra debe seleccionarse a través de una metodología que tenga en cuenta la composición específica de la plantación

Para ello se ha introducido el concepto de Especie Principal Menos Representada (EPMR), definida como aquella cuya importancia relativa en la plantación es de al menos un 20%. Este porcentaje de representación es el utilizado para calcular el tamaño de la muestra para cada variable (Apartado 4.2). Se ha considerado que el error de muestreo para esta especie deberá ser como máximo del 30% para una probabilidad fiducial del 95% (De la Hoz *et al.*, 2005). El resto de las especies principales, al ser más abundantes, tendrán un tamaño de muestra superior, por lo que presumiblemente sufrirán un error de estimación inferior a ese 30%.

Aquellas especies que tengan menor representatividad serán muestreadas con un error probablemente superior al exigido para la EPMR; sin embargo se considera que su baja representatividad es razón para reducir el esfuerzo dedicado en el muestreo.

Por lo tanto, para definir un tamaño de muestra para una variable es necesario contar con datos previos sobre su variabilidad. En el caso de las plantaciones de WWF estos datos se han obtenido de los muestreos realizados y son los que permiten relacionar los valores de error y tamaño de muestra para cada variable (ver Apartado 3.2.1). De esta forma, se obtienen unos tamaños mínimos de muestra que son los que se utilizan para el diseño de los muestreos. En el caso de las plantaciones analizadas de WWF se obtiene que para la variable *Supervivencia* se deben muestrear 38 individuos, mientras que para las variables *Altura* y *Diámetro*, se deben muestrear 7.84 y 6.54 individuos, respectivamente.

### 3.2.3. Mortalidad esperada

En el caso de las variables que no estén asociadas a la supervivencia, como *Altura* y *Diámetro*, en el cálculo del tamaño de muestra se debe tener en cuenta la mortalidad de la plantación, que disminuye el número de individuos disponibles para el muestreo. Esto hace que el seguimiento se deba considerar como una acción dinámica en el tiempo, ya que el tamaño de muestra planteado en primera instancia disminuirá como consecuencia de la evolución de la plantación. Sin embargo, no resulta factible realizar un ajuste anual en el que se actualice el tamaño de muestra en relación a la mortalidad observada. Por el

contrario, se debe intentar prever la dinámica de la plantación, anticipando su comportamiento para poder ajustar las intensidades de muestreo desde el comienzo del seguimiento en función a la abundancia de plantas.

De forma general las plantaciones en el ámbito mediterráneo sufren la mayor pérdida de plantas en el primer año, si bien a partir del segundo año de plantación es cuando se estabilizan los datos de mortalidad. Rey Benayas sitúa la mortalidad de plantones de *Quercus ilex* utilizados en una reforestación de tierras agrarias en 42% en el segundo año de plantación (Rey Benayas, 1997), mientras que en los datos recopilados por WWF en el periodo 2008-2011 se obtienen tasas de mortalidad del 53% en el segundo año de plantación (WWF, 2011). De forma general, a partir de esta fecha la pérdida de individuos se estabiliza, observándose “una progresiva disminución de la tasa de mortalidad anual hacia valores cercanos al 10%”, dependiendo de las especies utilizadas (Vilagrosa *et al.*, 2001).

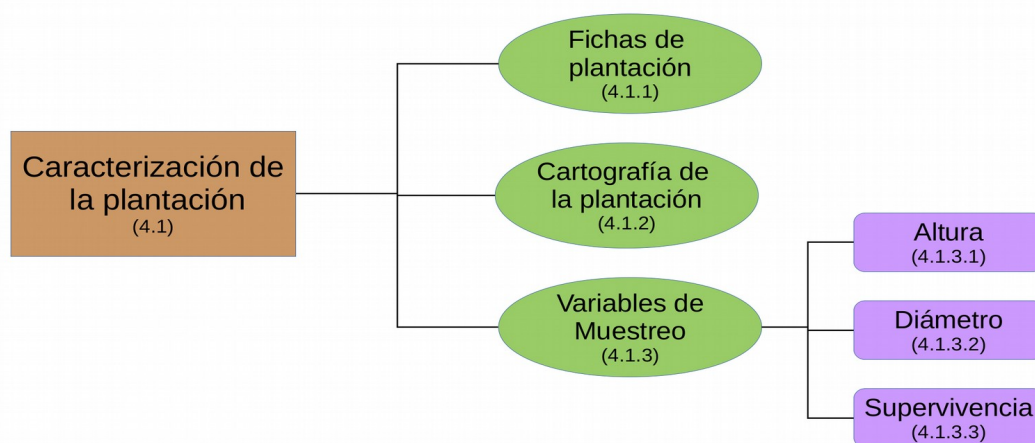
#### 3.2.4. Validación de la metodología

Con el objetivo de poder contrastar la propuesta metodológica que se presenta en el presente trabajo y facilitar su futura aplicabilidad en diferentes escenarios, se ha realizado una validación teniendo en cuenta el concepto de EPMP y mortalidad en 3 de los proyectos seleccionados: Monte da Chaira (Ourense), Entrambasaguas (Ciudad Real) y Prado Ancho (Ciudad Real). Los muestreos se han realizado a mediados del mes de agosto de 2016 utilizando parcelas circulares de radio variable, dependiendo del tamaño de muestra de la variable a medir. Se han utilizado en todos los casos 5 parcelas que han sido distribuidas por las plantaciones utilizando una malla de muestreo sistemática. Los tamaños de muestra utilizados han sido diferentes a los presentados en el Apartado “3.2.1 Cálculo del tamaño de muestra”: 5.96, 5.24 y 36.81 individuos para las variables *Altura*, *Diámetro* y *Supervivencia*, respectivamente. Como dato de mortalidad se ha utilizado el dato existente el año 2015, que sitúa la supervivencia de la plantación en 29%.

## 4. DESARROLLO DEL TRABAJO: PROTOCOLO DE MUESTREO

Los criterios y recomendaciones incluidas aquí pretenden servir como base para la toma de decisiones en lo referente al seguimiento de plantaciones forestales con carácter restaurador. Las conclusiones recogidas son consecuencia del análisis de datos realizado sobre los planes de seguimiento de plantaciones forestales de WWF y están especialmente enfocadas a la mejora de la toma de datos de dichas plantaciones, lo que no impide que puedan ser válidas para el desarrollo de planes de seguimiento de plantaciones de características similares desarrolladas por otros organismos. Aplicación del protocolo

### 4.1. Caracterización de la de la plantación



Esquema 1: Caracterización de la plantación

Al afrontar el muestreo de una plantación por primera vez es vital identificar y ordenar los datos disponibles, de tal manera que se facilite el trabajo en fases posteriores del diseño del muestreo.

#### 4.1.1. Fichas de plantación

Los datos relevantes de cada proyecto se deben recoger en unas tablas que se denominan “Fichas de plantación”. Éstas actúan como base de datos en la que se recogen las variables más importantes de cara al diseño del muestreo y justificación de los resultados obtenidos. Las características principales de cada proyecto se pueden separar en 2 grandes grupos: características de la plantación y características del medio:

Características de la plantación	Características del medio
<b>Fecha</b>	<b>Clima</b>
<b>Superficie de plantación</b>	<b>Precipitación anual</b>
<b>Especies empleadas y % de representación</b>	<b>Tipo de suelo</b>
<b>Densidad</b>	<b>Pendiente</b>
<b>Marco de plantación</b>	Pedregosidad
<b>Reposición de marras</b>	Profundidad
Objetivo de la plantación	Exposición
Ejecutor	
Preparación del suelo	
Cuidados post-plantación	

Tabla 2: Recopilación de las características de la forestación

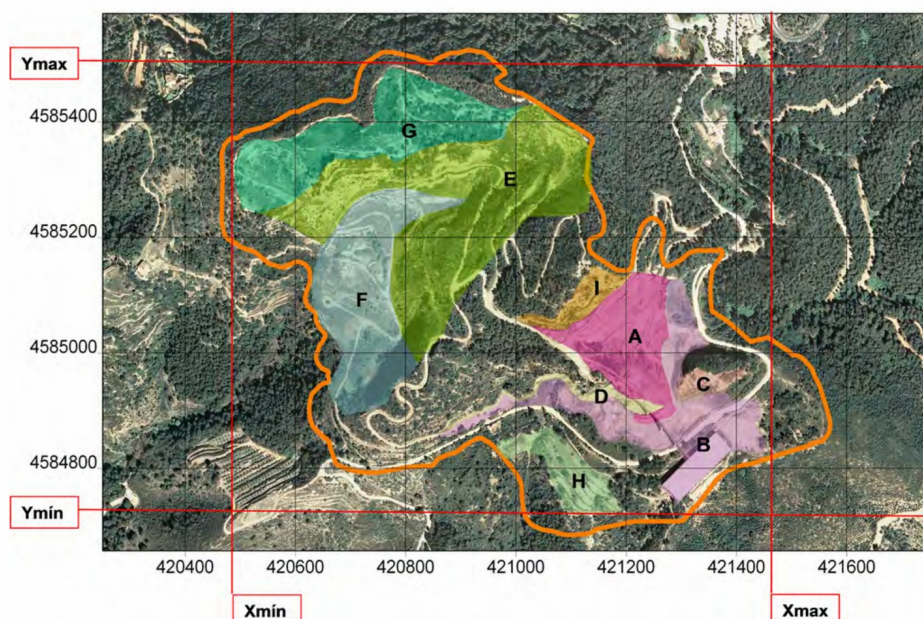
De esta forma se identifican aquellos factores que resultan relevantes para (1) el desarrollo de la plantación y (2) explicar la variabilidad observada *a posteriori* en los resultados del muestreo.

#### 4.1.2. Cartografía de la plantación

La cartografía de la plantación se podrá obtener en la mayoría de los casos directamente de los documentos relativos a la ejecución del proyecto.

Esta cartografía, unida a las Fichas de plantación, facilita la toma de decisiones en el proceso de diseño del muestreo, posibilitando un mejor reparto de los recursos disponibles entre las diferentes zonas de plantación, en caso que las hubiese. Para que el muestreo sea válido se necesita que las diferentes zonas muestreadas sean homogéneas en cuanto a factores como el año de plantación, la mezcla de especies empleada, la tipología de plantación etc. De no cumplirse esta condición se debería realizar una segregación de tal manera que se consiga un nivel de homogeneidad adecuado. En esta labor se recomienda no subdividir de forma excesiva la plantación, evitando crear zonas de superficie inferior a 5.000 m<sup>2</sup> (Carabassa *et al*, 2015).





*Ilustración 4: Mapa de las zonas de plantación*

	X	Y
máx	421590	4585500
mín	420500	4584680
ZONAS		
A	421200	4585000
B	421300	4584900
C	421110	4586000
D	421110	4584900
E	421000	4585300
F	420700	4585100
G	420800	4554000
H	421100	4584800
I	421100	4585100

*Tabla 3: Referenciación de la plantación mediante coordenadas*

Para referenciar la plantación se recomienda cumplimentar una tabla con las coordenadas UTM de la plantación en las que se introducirán las coordenadas X e Y máximas y mínimas, a la que se puede añadir las coordenadas del centroide de cada una de las zonas en las que se subdivide la plantación (Ilustración 4 y Tabla 3). Variables básicas de muestreo

#### 4.1.3. Variables de muestreo

En concreto, *Altura*, *Diámetro* y *Supervivencia* son las variables que resultan de mayor interés en el seguimiento de plantaciones destinadas a la restauración forestal, debido a lo representativas que son respecto al desarrollo de los individuos.

#### 4.1.3.1. ALTURA:

Este parámetro está definido por la longitud del tallo o fuste, en centímetros. Es un parámetro de fácil medición en plantaciones jóvenes o con poco desarrollo vertical, pero su obtención se va dificultando conforme aumenta el crecimiento en altura de las especies. En las primeras fases la medición se realiza con una cinta métrica o con una vara. A partir de los 3 metros de altura es recomendable emplear hipsómetros para una medición más rápida y precisa.

En individuos de porte arbóreo se realiza una medición desde la base del tallo hasta la yema apical. Si hay varios tallos se mide el de mayor altura. En el caso de los individuos de porte arbustivo se realiza una medición de la altura verde, es decir, la altura que tiene el punto verde más alto del individuo.

#### 4.1.3.2. DIÁMETRO

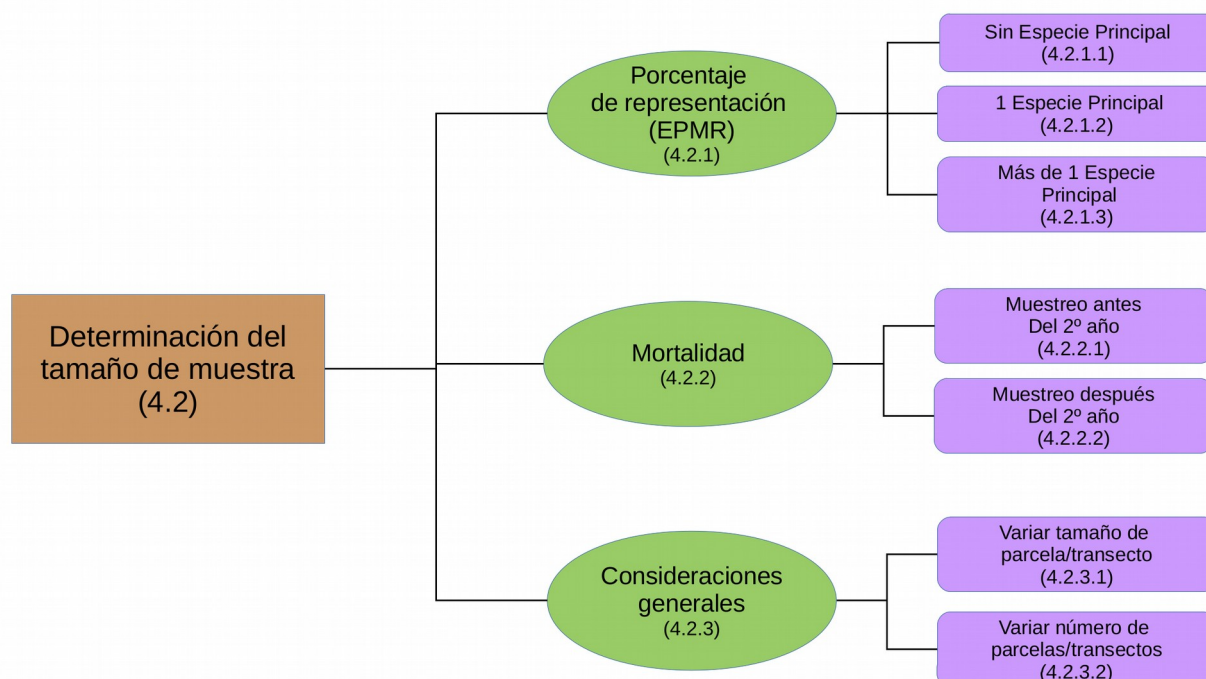
En individuos de porte arbóreo queda definido por la medición del diámetro del fuste en su base, en milímetros. En las fases iniciales se utilizará un calibre y, cuando el diámetro del pie así lo requiera se utilizarán forcípulas. Cuando se trate de individuos de porte arbustivo se debe medir el diámetro de copa, realizando 2 mediciones perpendiculares. El valor de referencia que se tomará será la media de las 2 medidas.

#### 4.1.3.3. SUPERVIVENCIA

Representa la proporción de plantones vivos respecto a la suma de plantones vivos y muertos. Es una variable cualitativa de vital importancia a la hora de evaluar el éxito de la plantación, en la que cada uno de los individuos observados puede tener un valor 0 (muerto) o 1 (vivo). De esta forma, en una muestra de tamaño  $n$  se pueden encontrar  $S$  proporción de individuos vivos y  $(1-S)$  proporción de individuos muertos. Se considera que una planta está muerta cuando tiene la totalidad de sus hojas secas, pero se debe tener en cuenta que en las especies rebrotadoras puede existir suficiente vigor en la raíz como para crecer una nueva parte aérea, por lo que la determinación de su estado deberá hacerse con mayor precaución, evaluando la existencia o no de tallo verde o yemas vivas en la base.



## 4.2. Determinación del tamaño de muestra



Esquema 2: Determinación del tamaño de muestra

### 4.2.1. Porcentaje de representación (EPMR)

#### 4.2.1.1. PLANTACIONES SIN ESPECIE PRINCIPAL (REPRESENTACIÓN <20%):

No hay ninguna especie con representación por encima del 20% por lo que se considera que no hay ninguna especie principal. El esfuerzo de muestreo debe ser mayor que en las otras tipologías, llegando incluso a ser demasiado alto para la entidad de la plantación a caracterizar. A continuación se presentan 4 escenarios distintos dependientes de las necesidades particulares de cada muestreo:

- Muestrear aumentando el esfuerzo de muestreo: siguiendo la metodología, se establece como base de cálculo del tamaño de muestra el porcentaje de representación de la especie mas representada. El esfuerzo de muestreo aumenta más cuanto menor es el porcentaje de representación de dicha especie, pero el conocimiento sobre el estado de la plantación prima sobre el gasto de recursos.
- Muestrear *Supervivencia*: diseñar el muestreo teniendo en cuenta únicamente la variable *Supervivencia*, de manera que se eliminan las medidas de crecimiento, las

más costosas de evaluar en cuanto a tiempo. Se toma como base de cálculo para el tamaño de muestra el porcentaje de representación de la especie más representada.

- Muestrear sin aumentar el esfuerzo de muestreo: agrupar las especies según características similares (por ejemplo; agrupar *Quercus ilex* y *Quercus suber*), hasta lograr que la suma de sus porcentajes de representación superen el 20%. El porcentaje obtenido se utiliza como base de cálculo para los tamaños de muestra. De esta forma las especies seleccionadas se muestrean como si fuesen una sola, por lo que los datos obtenidos sólo serán representativos si existe gran similitud entre ambas.

- No muestrear la plantación: en aquellas plantaciones con una entidad muy pequeña (ver plantación de Miño, Anexo I) se puede decidir que el esfuerzo de muestreo es superior al valor de los datos, con lo que no se realiza muestreo alguno. .

#### 4.2.1.2. PLANTACIONES EN LAS QUE SÓLO HAY UNA ESPECIE PRINCIPAL (REPRESENTACIÓN >20%):

El porcentaje de representación para el cual se realizan los cálculos es 25% siempre y cuando que el porcentaje de representación de la EPMR no sea inferior a esa cifra. De serlo, se utilizará el porcentaje de representación de la EPMR.

De esta forma se consigue que en plantaciones de este tipo no se evalúe únicamente la EPMR, si no que las especies menos representadas cuenten con datos dentro del muestreo, a pesar de que presenten un error relativo mayor que del 30%. Más concretamente, tomando como base de cálculo del tamaño de muestra un porcentaje de representación del 25% para la EPMR se obtienen un mínimo de 3 individuos para aquellas especies representadas en más de un 10.4%, tomando como referencia el valor de tamaño de muestra para la variable *Altura* (7.84 individuos).

Por ejemplo, en el caso de una plantación con una sola especie principal con un 35% de representación, se seleccionaría como base de cálculo el 25% de representación. De esta manera se consiguen muestrear, para la variable *Altura*, al menos 3 individuos las especies que están por encima del 10.4% de representación.

#### 4.2.1.3. PLANTACIONES CON DOS O MÁS ESPECIES PRINCIPALES (REPRESENTACIÓN >20%):

Se mantiene el criterio de utilizar como base de cálculo el porcentaje de representación de la EPMR. Si hay dos especies con una representación superior al 20% cada una es probable que supongan más del 50% de las plantas totales.

#### 4.2.2. Mortalidad

Para diseñar el muestreo de una plantación es necesario conocer su estado actual, donde datos como la supervivencia, la densidad de plantación real (en el caso de usar marcos irregulares) o la presencia de particularidades locales resultan relevantes. Tal y como se ha apuntado anteriormente, la mortalidad de la repoblación forestal es un factor muy relevante a la hora de plantear un seguimiento (ver 3.2.3 Mortalidad esperada). Es por esto que se deben tener en cuenta las pérdidas de plantas que puedan alterar significativamente el tamaño de muestra que, por ende altera la validez de los resultados. Dependiendo del momento en el que se realice el diseño, se pueden separar 2 tipos de muestreos:

##### 4.2.2.1. MUESTREOS REALIZADOS ANTES DEL AÑO 2 DE PLANTACIÓN

En esta primera fase de la plantación la mortalidad todavía no se ha asentado en valores constantes, con lo que se deberá realizar una estimación del valor máximo que podrá alcanzar en circunstancias normales. Se tomará como referencia una mortalidad del 47 % (Rey Benayas, 1997; WWF, 2011), que será la que se utilice para calcular el tamaño de muestra de los muestreos que se desarrollen hasta el segundo año de plantación.

##### 4.2.2.2. MUESTREOS REALIZADOS A PARTIR DEL AÑO 2 DE PLANTACIÓN

La mortalidad se estabiliza en el segundo año de plantación, pero los valores son muy variables entre plantaciones. Por ello, se realizará un recálculo del tamaño de muestra teniendo en cuenta los datos de mortalidad obtenidos en el muestreo del año 2 (ver Frecuencia de muestreo). La cifra obtenida se aumentará en un 10% a partir del valor de mortalidad del 2º año para considerar las pérdidas de planta en los siguientes años (Vilagrosa *et al.*, 2001).

En aquellas plantaciones con una edad igual o superior a 2 años que no hayan recibido ningún seguimiento, se deberá realizar un muestreo piloto, de baja intensidad, que no sobrepasará el 0.4% de la superficie total de la plantación (De la Hoz *et al.*, 2005) en el que únicamente se evalúe mortalidad.

En el caso de que la mortalidad detectada en los muestreos posteriores al segundo año sea mayor a la estimada en un primer momento, se deberá volver a recalcular el tamaño de muestra.

#### 4.2.3. Consideraciones generales

Para realizar un muestreo, además de saber qué tamaño de muestra se debe utilizar, es importante considerar cómo se va a distribuir dentro de las parcelas o transectos.

Además, cuando se muestreen varias variables simultáneamente se deben utilizar métodos que permitan disminuir el esfuerzo de muestreo y así optimizar los recursos disponibles. Así, las variables con un tamaño de muestra similar, como *Altura* y *Diámetro*, pueden ser muestreadas de forma simultánea en los mismos individuos. Para ello se debe utilizar el tamaño de muestra más restrictivo, que en el caso de los datos presentados es el de la variable *Altura*. En el caso de otras variables con un tamaño de muestra mayor, como pueda ser el caso de la *Supervivencia*, se debe utilizar algún método para optimizar recursos en la máxima medida posible. De forma general, los escenarios disponibles en la distribución de las parcelas o transectos por la forestación son los siguientes (ver Anexo IV):

##### VARIAR EL TAMAÑO DE LAS PARCELAS O TRANSECTOS:

En el caso de las parcelas circulares, el centro de la parcela de la variable *Supervivencia* se puede superponer al de las variables *Diámetro* y *Altura* pero variando el radio, otorgándoles así una superficie diferente. De esta forma se pueden anotar los valores de *Supervivencia* a la vez que se van muestreando los valores de las demás variables (con un tamaño muestral menor) y, posteriormente, anotar únicamente los valores de *Supervivencia* de la parcela de mayor tamaño. Para ello, se debe fijar un número de parcelas mínimo, a partir del cual se calculará el tamaño de parcela teniendo en cuenta el tamaño de muestra. Es recomendable que el radio de las parcelas no sea en ningún caso superior a 20 metros, dado que a partir de esta distancia se dificulta la operatividad en el muestreo.

Se opera de la misma forma en el caso de los transectos, donde se comienzan a muestrear todas las variables de forma simultánea pero se termina muestreando únicamente aquella con un tamaño de muestra mayor.

VARIAR EL NÚMERO DE PARCELAS O TRANSECTOS :

Se establece un número fijo de individuos por parcela y se varía el número de repeticiones. De esta forma, el tamaño de cada parcela viene definido por la densidad de muestreo. Es recomendable fijar un número medio de 15 individuos por parcela por parcela (*De la Hoz et al.*, 2005), ya que de esta manera se mantienen unos radios de parcela con los que se puede operar correctamente en campo (Tabla 4). En los casos en los que el radio de la parcela aumente excesivamente, en especial si es por encima de los 20 metros, se deberá aumentar el número individuos por parcela.

Plantas/ parcela	Densidad (p/ha)	Radio parcela (m)
15	100	22
15	200	16
15	300	13
15	400	11
15	500	10
15	600	9
15	700	9
15	800	8
15	900	8
15	1000	7
15	1100	7
15	1200	7
15	1400	6
15	1600	6

*Tabla 4: Relación entre el número de individuos por parcela, la densidad de la plantación y el radio de la parcela*

### 4.3. *¿En qué época se debe muestrear?*

La época de muestreo óptima se deberá definir teniendo en cuenta los condicionantes propios de cada plantación, analizando los periodos de estrés y de crecimiento. Sin embargo, se pueden tener en cuenta unas recomendaciones generales para elegir la época de muestreo idónea:

- El muestreo se debe realizar después del periodo de crecimiento anual, de manera que se pueda cuantificar el desarrollo de la planta en el año.
- El muestreo se debe realizar después de la época de estrés, cuando ya han actuado los factores más relevantes desde el punto de vista de la mortalidad. Dentro de este parámetro se deben tener en cuenta las variaciones que originan las condiciones locales como la altitud o la orientación.
- Para la correcta diferenciación de las especies es obligatorio realizar el muestreo en una época en la que las especies caducifolias, si las hubiese, tengan hojas. Esto es de especial importancia si el muestreo se realiza con voluntarios con bajos conocimientos botánicos.

Teniendo en cuenta estas recomendaciones, se puede determinar que la época de muestreo idónea para un clima mediterráneo como el existente en gran parte de la península ibérica es aquella comprendida entre mediados-finales de octubre porque en este clima: (1) las plantas crecen, generalmente, entre los meses de primavera y verano y (2) el periodo más estresante es la sequía estival, que afecta hasta el mes de septiembre.

Para aquellas plantaciones bajo influencia de otro tipo de clima, como el atlántico, se puede mantener un razonamiento similar. Aunque en este ámbito no exista una sequía estival *per se*, sí que existe un periodo en el que las precipitaciones son menores, correspondiéndose al de abril y septiembre. Este lapso de tiempo es cuando mayor estrés sufrirán las especies vegetales, por lo que se pueden mantener los mismos tiempos descritos para el caso del clima mediterráneo. En otros tipos de clima se deberán considerar las épocas críticas para la plantación, que en zonas frías continentales, por ejemplo, se corresponderá con el invierno, para determinar la época idónea para la realización de los muestreos siguiendo las recomendaciones arriba mencionadas.

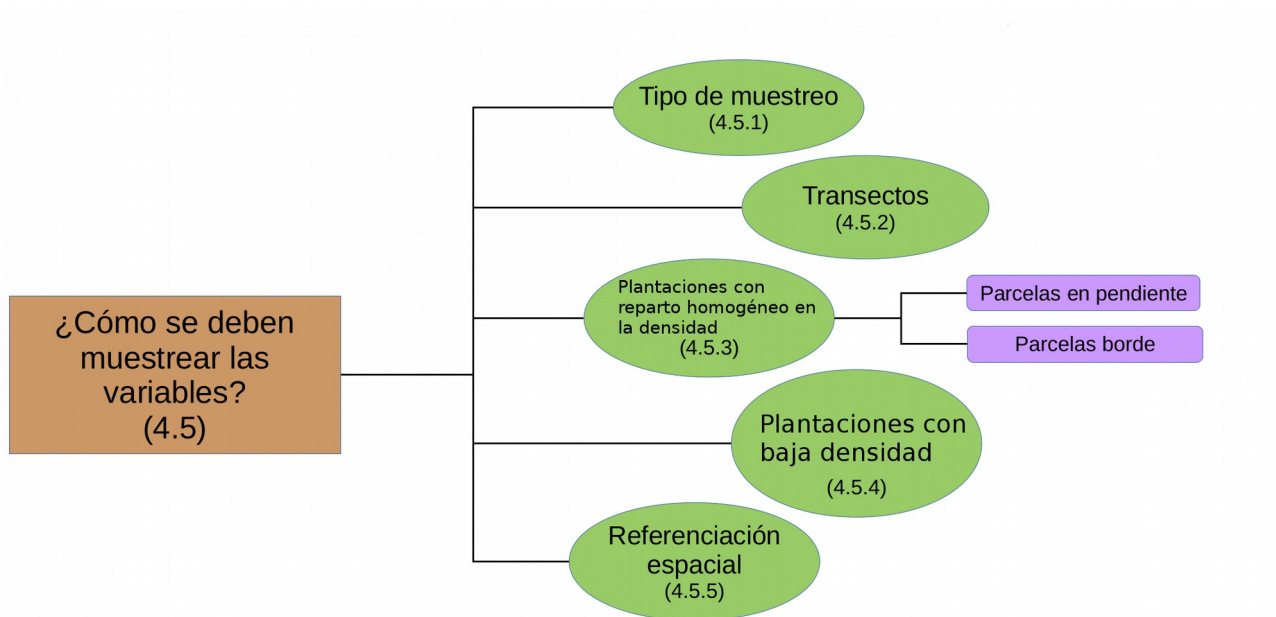
#### 4.4. *¿Con qué frecuencia se debe muestrear?*

De forma general, para un seguimiento en el que se evalúe establecimiento y crecimiento simultáneamente es importante aumentar la frecuencia en los 2 primeros años de la plantación, que es donde se produce un decaimiento más importante en la supervivencia (Vilagrosa *et al.*, 2001) y disminuirla conforme aumente la edad de la plantación. En el caso concreto de las plantaciones de WWF se propone realizar muestreos en los años 0, 1, 2, 4, 6 y 10.

El muestreo del año 0 se realiza una vez terminadas las labores de plantación, de forma simultánea al replanteo de las agrupaciones de muestreo. De esta forma se realiza un inventario de las plantas existentes dentro de cada agrupación. Tal y como ha demostrado la experiencia puede resultar muy difícil, si no imposible, identificar la especie a la que pertenece una marra que se muestrea por primera vez en el año 1, con lo que este primer muestreo es de vital importancia para conocer la información de partida sobre la que apoyar el crecimiento y reconocimiento de las especies. Es irrelevante la época en la que se realice el muestreo, debiendo realizarse de forma inmediatamente posterior a la finalización de las labores de plantación.

Por el mismo motivo es igual de importante realizar un muestreo de forma inmediatamente posterior a una reposición de marras, en el que se evalúen las plantas que se han introducido en las agrupaciones de muestreo. En este muestreo no resulta tan relevante tomar datos de supervivencia y crecimiento como realizar una identificación de las plantas que se han introducido.

#### 4.5. ¿Como se deben muestrear las variables? Diseño de las unidades de muestreo



Esquema 3: Diseño de las unidades de muestreo

Como ya se ha comentado, en el caso particular del protocolo, la unidad de muestreo considerada ha sido cada uno de los individuos que forman la plantación, que se agrupan en parcelas o transectos para facilitar la recogida de datos.

##### 4.5.1. Consideraciones acerca del tipo de muestreo

Para el muestreo de plantaciones forestales se propone el Muestreo Sistemático (MS) por los siguientes motivos, que lo hacen más válido que el Muestreo Aleatorio Simple (MAS):

- La existencia de un patrón geométrico para la elección de las parcelas o transectos y su ubicación sobre el terreno posibilita que este tipo de muestreos sean más rápidos y baratos que los muestreos aleatorios.
- Se ha comprobado empíricamente que el MS resulta en estimaciones iguales o mejores que las producidas por el MAS y consigue recoger de manera más eficaz la variabilidad de la plantación al lograr promover un despliegue sobre el terreno (De la Hoz *et al.*, 2005).
- Presenta plasticidad a la hora de seleccionar la cantidad de parcelas o transectos,



ya que mediante la modificación de la morfología o el tamaño de la malla se pueden adecuar las características del muestreo a las necesidades de cada proyecto.

En el MS la muestra se recoge de forma uniforme sobre la población utilizando una malla de muestreo que se superpone sobre la superficie a inventariar, de tal manera que se obtiene un espaciamiento fijo entre parcelas o transectos. Esta malla está formada por pequeñas celdas, normalmente de tipo cuadrangular o rectangular, de manera que las agrupaciones de muestreo se emplazan en los centros o en los vértices de dichas celdas, lo que posibilita que su ubicación quede condicionada al espaciamiento o “lado de malla”.

La morfología de malla más utilizada es la cuadrangular, cuyo lado de malla (L) se determinará con la Ecuación 1, utilizando el área de plantación (A) y el número de agrupaciones de muestreo (N) :

Malla Cuadrangular

$$L = \sqrt{\frac{A}{N}}$$

*Ecuación 1: Ecuación de la malla de muestreo*

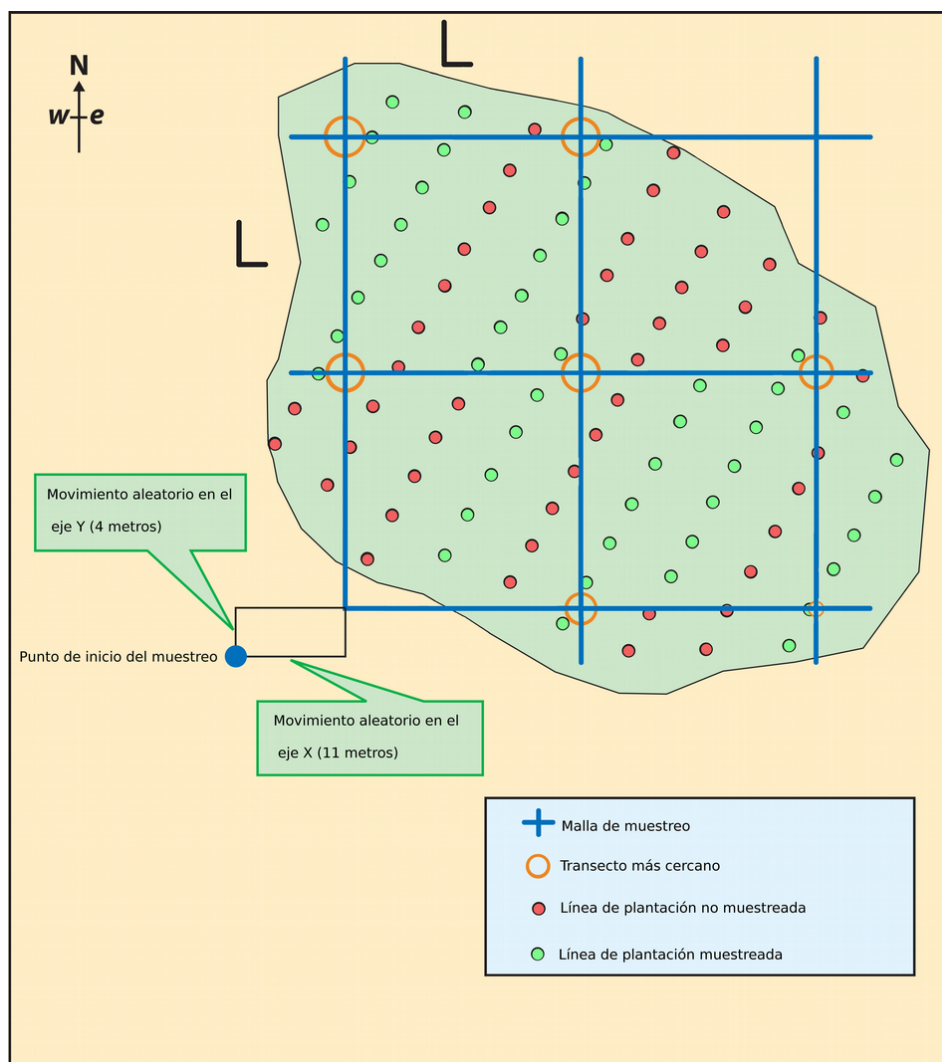
El área de la plantación (A) se debe determinar a partir de los mapas de plantación y el número de agrupaciones de muestreo (n).

La malla de muestreo toma como punto de referencia para su ubicación una de las esquinas de la zona de plantación. Después se mueve una distancia aleatoria en las coordenadas X e Y. De esta forma se utiliza un MS con inicio aleatorio, lo que evitará preferencias de muestreo haciendo que todos los puntos de la plantación tengan la misma posibilidad de estar dentro de la muestra (ver Ilustración 5).

#### 4.5.2. Transectos

Esta tipología de muestreo se utiliza en masas forestales distribuidas en líneas de plantación, donde lo que la anchura del transecto se limita a la propia hilera de plantas. Su ámbito de mayor aplicación es en zonas con una alta pendiente, que están aterrazadas o

no, donde se facilitan las labores de plantación mediante la instalación de las plantas en curvas de nivel. Para este tipo de plantaciones, este método es el más sencillo y el que menos esfuerzo requiere, ya que se evitan los desplazamientos continuos que supone utilizar el muestreo por parcelas.



*Ilustración 5: Distribución de los transectos según la malla de muestreo.*

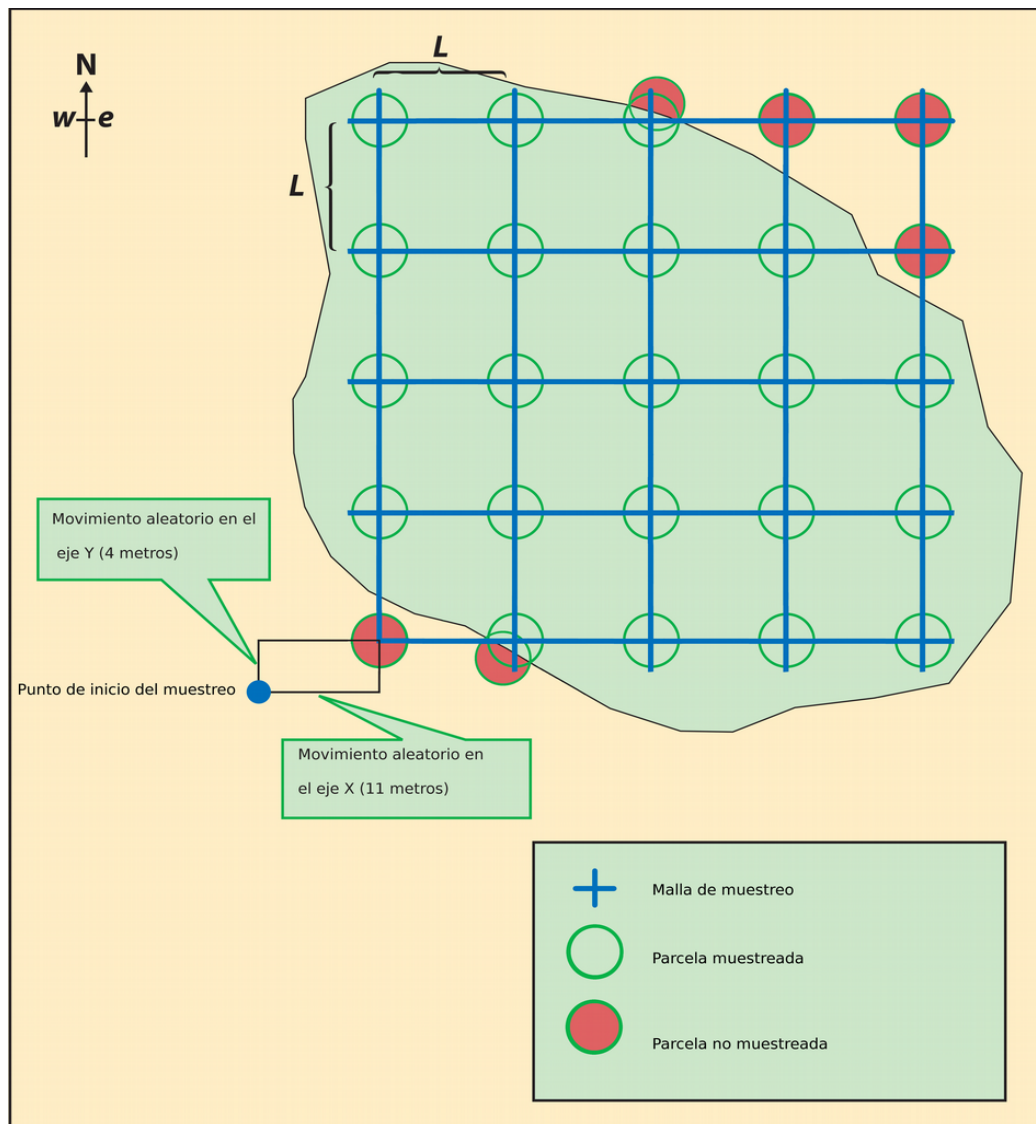
Como se ha comentado anteriormente, se aplicará un MS en las plantaciones lineales, utilizando una malla de muestreo para distribuir los transectos por la superficie de plantación (Apartado 4.5.1). Los muestreos se realizarán en las líneas de plantación más cercanas a cada punto de intersección de la malla. Si muestreando una línea de plantación ésta se acabase, se debe seguir muestreando la 2ª línea de plantación más cercana al punto de intersección de la malla, hasta que se consiga el número de individuos necesarios para cada transecto. La dirección seguida a la hora de muestrear la línea es indiferente.

En los casos en los que una línea de plantación se encuentre particularmente favorecida, con el caso de una surgencia de agua en una terraza, se deberá fraccionar el muestreo en 3 y repartirlo entre la línea de plantación seleccionada y las contiguas.

#### 4.5.3. Plantaciones con reparto homogéneo de la densidad

Las plantaciones donde los individuos estén distribuidos homogéneamente se muestrearán utilizando parcelas. Esta forma de muestreo es la más utilizada, ya que facilita el despliegue y replanteo de la muestra. Las morfologías más utilizadas son las cuadradas, rectangulares y circulares, siendo éstas últimas las más recomendadas por los siguientes motivos (Bertomeu, 2011):

- Replanteo fácil y rápido: sólo es necesario referenciar el centro de la parcela.
- No existe dirección de muestreo preferente gracias a la simetría radial del círculo.
- A igualdad de superficie su perímetro es menor, lo que disminuye el número de “pies dudosos” (localizados en el límite).



*Ilustración 6: Distribución de las parcelas según la malla de muestreo*

Las parcelas se distribuirán en el espacio siguiendo los criterios marcados por el MS (Apartado 4.5.1), teniendo en cuenta que: en distribuciones regulares, que representan poblaciones periódicamente espaciadas, será preciso utilizar la parcela circular con precaución, evitando que la distancia entre las mismas no sea un múltiplo de la distancia entre líneas de arbolado y su radio, mayor que esta distancia (De la Hoz et al., 2005).

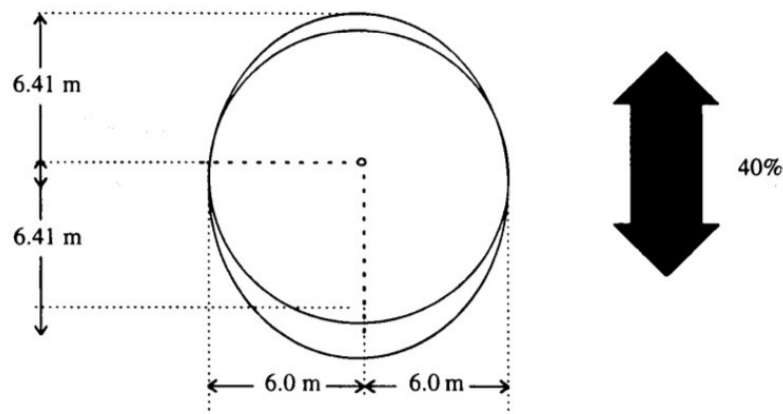
#### 4.5.3.1. CONSIDERACIONES EN EL REPLANTEO: PARCELAS EN PENDIENTE

Al replantear la parcela se debe tener en cuenta que la existencia de una determinada pendiente resulta en una reducción del área efectiva de la parcela, con lo que a partir de una pendiente del 10% (De la Hoz *et al.*, 2005) se debe realizar una corrección aumentando su área según el coseno del ángulo de inclinación de la pendiente:

$$\text{Radiocorregido} = \frac{\text{Radio}}{\cos \theta}$$

donde  $\theta$  es el ángulo de inclinación de la pendiente en grados sexagesimales.

La modificación en el diámetro de la parcela se debe realizar únicamente en la dirección de la pendiente y no en sus secciones transversales, de forma que la parcela se asemeje más a una elipse (Spitler, 1995; Ilustración 7).

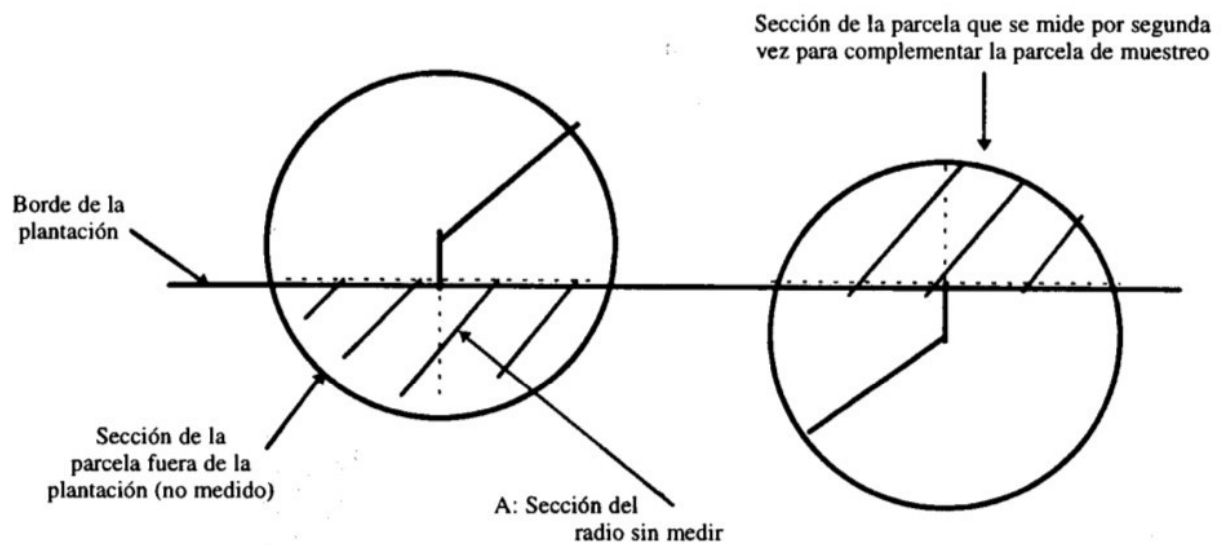


*Ilustración 7: Muestra de corrección longitudinal en la parcela circular según la pendiente del terreno. Ejemplo para una pendiente de 40% (Spitler, 1995)*

Para facilitar el replanteo de la parcela con la pendiente corregida en campo se creará una nueva parcela circular que tenga el mismo área que la teórica parcela elipsoidal.

El procedimiento a seguir es igual en el caso de utilización de parcelas cuadradas o rectangulares, donde se realizará la corrección en los lados paralelos a las líneas de máxima pendiente, utilizando en vez del radio la anchura y el largo de la parcela.

#### 4.5.3.2. CONSIDERACIONES EN EL REPLANTEO: PARCELAS BORDE

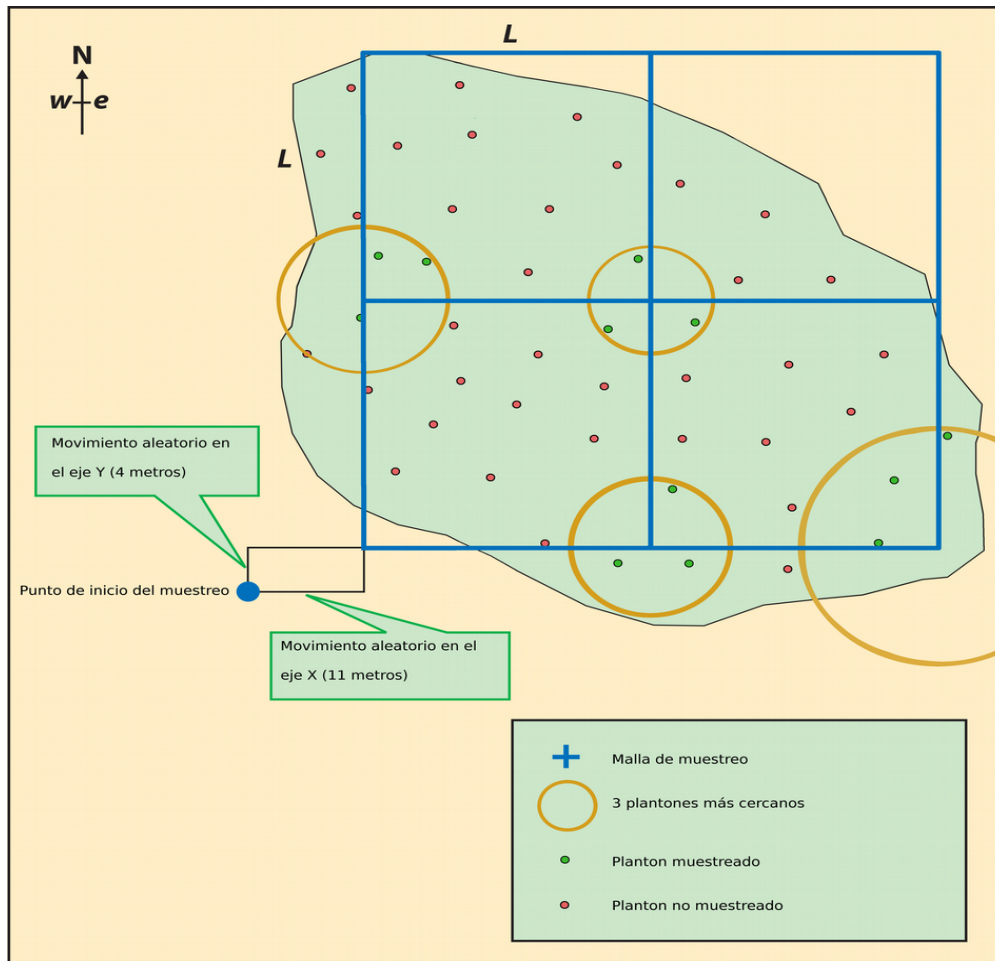


*Ilustración 8. Procedimiento de instalación de una parcela circular en el borde de una plantación (Akça, 1993)*

Cuando alguna de las parcelas se ubique parcialmente en zonas donde no haya habido actividad reforestadora, en el límite de la plantación o en islas sin plantación, se deberá compensar siguiendo el método *Mirage* (Akça, 1993; Ilustración 8), en el que se siguen los siguientes pasos:

- Se establece la parcela donde corresponda y se miden todos los árboles de dentro de la plantación.
- Se mide el segmento de radio no muestreado (sección A en la Ilustración 4).
- Se establece de nuevo la parcela en el mismo lugar, pero del otro borde de la plantación, de manera que su sección ya medida quede en el lado externo.
- Se vuelven a medir todos los árboles incluidos dentro de la plantación, complementando la medida anterior.

#### 4.5.4. Plantaciones con baja densidad



*Ilustración 9: Radios variables de parcela dependiendo de la densidad de individuos; se muestrean 3 plantas*

En aquellas plantaciones donde la densidad de muestreo es inferior a 100 pies/hectárea la implantación de parcelas de radio variable o de radio fijo (Apartado 4.2.3) no resulta eficaz, ya que los tamaños de parcela serían demasiado grandes. Generalmente, los tipos de plantaciones forestales a los que puede aplicar la metodología de este apartado son aquellos relacionados con las dehesas, más concretamente las actuaciones realizadas para la redensificación de masas maduras.

Plantas/ parcela	Densidad (p/ha)	Radio parcela (m)
1	10	17.8
1	20	12.6
1	30	10.3
1	40	8.9
1	50	7.9
1	60	7.3
1	70	6.7
1	80	6.3
1	90	5.9
1	100	5.6

Plantas/ parcela	Densidad (p/ha)	Radio parcela (m)
2	10	25.2
2	20	17.8
2	30	14.5
2	40	12.6
2	50	11.2
2	60	10.3
2	70	9.5
2	80	8.9
2	90	8.4
2	100	8

Plantas/ parcela	Densidad (p/ha)	Radio parcela (m)
3	10	30.9
3	20	21.8
3	30	17.8
3	40	15.4
3	50	13.8
3	60	12.6
3	70	11.6
3	80	10.9
3	90	10.3
3	100	9.7

Plantas/ parcela	Densidad (p/ha)	Radio parcela (m)
4	10	35.7
4	20	25.2
4	30	20.6
4	40	17.8
4	50	15.9
4	60	14.5
4	70	13.4
4	80	12.6
4	90	11.9
4	100	11.3

*Ilustración 10: Radios de parcela obtenidos en función de la densidad de parcela y el número de plantas por parcela*

En este caso el muestreo se realiza siguiendo la metodología del MS, creando una malla de muestreo y ubicando una “parcela” en cada nodo. Las parcelas funcionarán como un punto a partir del cual se muestrearán las X plantas más cercanas (Ilustración 10). Se seleccionará un número fijo de plantas por parcela, prestando atención a que los radios de las parcelas no sean superiores a 20 metros, para facilitar la labor de medición

#### 4.5.5. Referenciación espacial

Para poder realizar un seguimiento válido continuado en el tiempo es importante contar con agrupaciones de unidades de muestreo fijas, cuyas coordenadas se recojan en un GPS. A pesar de que actualmente existen instrumentos GPS que permiten localizar una coordenada con exactitud de varios metros, esta herramienta se debe combinar con un marcado en campo que permita una precisión total a la hora de replantar la parcela o transecto.





*Ilustración 11. Chapa identificativa*

Este marcado se puede realizar utilizando como referencia las plantas o creando hitos artificiales. Si se toman como referencia las plantas se puede hacer un marcado con etiquetas, práctica no recomendada puesto que existe el riesgo de que la identificación pueda desaparecer, bien por la muerte de la planta, bien por acciones vandálicas. En su lugar es recomendable utilizar un hito artificial, que puede ser desde una pequeña chapa anclada al suelo hasta un poste de madera u hormigón. De esta manera se obtiene una identificación permanente de la parcela, que en el caso de la chapa ha mostrado ser especialmente barata y efectiva (Ilustración 11).



*Ilustración 12: Varilla para ayudar en la medición de radio con la cinta métrica*

En el caso de las parcelas circulares resulta recomendable portar una varilla que se pueda clavar en la tierra para fijar la cinta métrica para medir los radios. En las fases tempranas de la plantación es importante que dicha varilla tenga una altura alrededor de 150-180 cm, para así poder desplegar la cinta métrica por encima de las plantas y sortearlas más fácilmente (Ilustración 12).

#### 4.6. *Discusión*

La valoración de metodología realizada ha arrojado datos que han permitido corregir y mejorar el protocolo de muestreo propuesto. De las 3 plantaciones analizadas, la validación en “Monte da Chaira” ha arrojado mejores resultados, puesto que el porcentaje de representación de cada especie dentro de la plantación es alta: 4 especies, con entre 15% y 37% de representación. La EPMP ha sido Abedul (*Betula alba*), con un 32% de representación, mientras que el Roble carballo (*Quercus robur*) estaba en un porcentaje de representación mayor, 37%. Los errores de muestreo obtenidos han sido similares a los arrojados en la última medición realizada por WWF en 2015, permaneciendo siempre por debajo del 30% de error relativo para las variables Altura y Diámetro. Además, para estas variables se ha reducido el tamaño de muestra con respecto al muestreo de 2015 en un 45%. El error relativo de Supervivencia para el Abedul ha estado ligeramente por encima del 30% propuesto.

Por su parte, en las plantaciones de “Entrambasaguas” y “Prado Ancho” los resultados obtenidos han tenido un error superior a lo esperado. Estas plantaciones tienen una característica particular, y es que sólo existe una especie principal y además ésta tiene un porcentaje de representación muy alto (por encima del 35%). Esto ha originado que los resultados obtenidos en la validación cuantifiquen el desempeño de la única especie principal, la Encina (*Quercus ilex*), ya que el resto de especies tienen un porcentaje de representación pequeño. El error relativo de la Encina ha sido inferior al 30% propuesto en ambas plantaciones.

En las 3 plantaciones la variable Supervivencia ha tenido un error relativo medio superior al 30%, puesto que, debido a la forma de cálculo, el error en esta variable está muy influenciado por los tamaños de muestra pequeños, que se han obtenido en las especies menos representadas.

## 5. CONCLUSIONES

El protocolo realizado proporciona instrucciones para el muestreo y seguimiento de plantaciones forestales mejorando la eficiencia y manteniendo niveles aceptables de precisión según los estándares comunes en este tipo de evaluaciones. Se introduce una nueva forma de calcular el tamaño de muestra en los muestreos de plantaciones forestales, como es la utilización del concepto de EPMP y la consideración de la mortalidad futura.

A la vista de los datos obtenidos en la validación realizada con la nueva metodología se puede afirmar que el esfuerzo de muestreo disminuye frente al método usado anteriormente por WWF sin aumentar por ello los errores de muestreo. Esta reducción se da de una forma más intensa en las variables de crecimiento, que a su vez son las que más esfuerzo requieren para su medición. A pesar del bajo coeficiente de determinación obtenido en las regresiones, este método se considera apto para modular el esfuerzo de muestreo en función de la variable objetivo. Se deben recopilar más datos acerca de las reforestaciones de WWF, lo que sin duda mejorará la precisión del modelo en el futuro.

Se ha detectado la importancia de planificar el muestreo desde la propia redacción del proyecto de plantación, de tal manera que se tengan en cuenta todos los factores que puedan influir en el seguimiento. Esto hay que tenerlo especialmente en consideración en las plantaciones susceptibles de reposiciones de marras, donde resulta muy complicado llevar a cabo el análisis de datos más allá de la reposición. El muestreo posterior a la reposición de marras se reconoce como un método eficaz para mantener la validez de los datos después de este tipo de actuaciones.

Se deben desarrollar metodologías para abordar el seguimiento de las plantaciones forestales a largo plazo y la evaluación de la restauración en su conjunto, aspectos que quedan fuera del alcance del presente trabajo pero que sin lugar a dudas se establecen como aspectos clave para la evaluación de las actuaciones.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Akça, A. 1993. *Forest Inventory*. Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde. University of Göttingen, Germany.

Bautista, S.; Alloza, J.A. 2009. Evaluation of forest restoration projects. En: Bautista, S., Aronson, V., Vallejo, V.R. (Eds.) *Land restoration to combat desertification. Innovative approaches, quality control and project evaluation*. Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo. Valencia, España. Pp 47-72

Bertomeu García, M.; Bravo Fernández, J.A.; Benitez Suárez, R. 2011. *Apuntes de inventario forestal de gestión*. Servicio de publicaciones. Universidad de Extremadura.

Carabassa, V.; Ortiz, O.; Alcaniz, J.M. 2015. Evaluación y seguimiento de la restauración de zonas afectadas por minería. Departament de Territori i Sostenibilitat, Direcció General de Qualitat Ambiental. Generalitat de Catalunya.

Colomina, D.; Melero, M. 2016. *Recuperando paisajes: un nuevo camino para la restauración ecológica*. WWF España, Madrid.

Consejería de Media Ambiente y Ordenación del Territorio. 1999. *Decreto 104/1999, de 12 de mayo, de la Junta de Castilla y León, por el que se aprueban las Instrucciones Generales para la Ordenación de los Montes Arbolados en Castilla y León*. Junta de Castilla y León.

Cuesta, B.; Rey Benayas, J.M.; Gallardo, A.; Villar-Salvador, P.; González-Espinosa, M. 2012. *Soil chemical properties in abandoned Mediterranean cropland after succession and oak reforestation*. Acta Oecologica 38: 58-65

De la Hoz Rodríguez, F. M.; Oliet Palá. J.A.; Abellanas Oar, B.; Cuadros Tavira, S.; Fernández Rebollo, P.; Zamora Díaz, R. 2005. *Inventario del Monte: Inventario de Recursos y Funciones*. En: Manual de Ordenación de Montes de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. 85-104.

Domenech Massons, J. M. 1991. *Estimación de parámetros*. Documentos del Laboratori de Psicologia Matemàtica. Universitat Autònoma de Barcelona.

Hernández, L. 2012. *Estándares para la Certificación de Proyectos de Restauración*. WWF España Madrid.

Hernández, L.; Romero, F. 2010. *Recuperando bosques o plantando incendios*. Un análisis de WWF sobre el futuro de los grandes incendios forestales en España. WWF España. Madrid.

Mostacedo, B.; Fredericksen, T. S. 2000. *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR).

Murillo, O.; Camacho, P. 1997. *Metodología para la evaluación de la calidad de plantaciones forestales recién establecidas*. En: Agronomía Costarricense 21(2). 189-206.

Ocampo-Melgar, A.; Valls, A.; Alloza, J.A.; Bautista, S. 2016. Fuzzy rule-based decision support system for evaluation of long-established forest restoration projects. Restoration Ecology Vol. 24, No. 3. 298–305

Oliet Palá, J. A. 2016. *Control de calidad y seguimiento de las repoblaciones*. Repoblaciones forestales y Viveros. Universidad Politécnica de Madrid.

Rey Benayas, J. M. 1997. *Mortalidad y crecimiento de plantones de Quercus ilex en una tierra agrícola abandonada en Toledo*. En: II Congreso Forestal Español. Pamplona.

Rojo, L. 1990. *Metodología para la elaboración de un Plan Nacional de restauración hidrológico-forestal mediante utilización de sistemas de información geográfica*. Tesis Doctoral. ETSIM. Madrid.

Serrada Hierro, R. 2000. *Apuntes de Repoblaciones Forestales*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Madrid.

Spitler, P. 1995. *Guía técnica para el inventario rápido de bosques secundarios en la zona Norte de Costa Rica*. COSEFORMA. Alajuela, Costa Rica.

Vilagrosa, A.; Caturla, R.N.; Hernández, N.; Cortina, J.; Bellot, J.; Vallejo, V. R. 2001. *Reforestación en ambiente semiárido del sureste peninsular. Resultados de las investigaciones desarrolladas para optimizar la supervivencia y el crecimiento de especies autóctonas*. Universidad de Alicante. Alicante.

WWF. *Creando bosques: proyectos de restauración* [Sede web]. Disponible en:  
[http://www.wwf.es/que\\_hacemos/bosques/nuestras\\_soluciones/restauracion\\_bosques/proyectos\\_restauracion\\_bosques/](http://www.wwf.es/que_hacemos/bosques/nuestras_soluciones/restauracion_bosques/proyectos_restauracion_bosques/)

WWF. 2011. *Restauración de ecosistemas forestales: seguimiento 2008-2011* (No publicado).

## 7. ANEXOS

### *Anexo I. Tablas de datos de las plantaciones*

#### Supervivencia

- Especie: identificador de la especie utilizada en la plantación.
- Introducidas: número de plantas de cada especie introducidas en la plantación.
- Introducidas (%): porcentaje de plantas de cada especie introducidas en la plantación.
- Vivas: número de plantas vivas muestreadas.
- Muertas: número de plantas muertas muestradas.
- Total: número total de plantas muestreadas.
- Supervivencia: relación Vivas/Total, en tanto por uno.
- Error (95%): error de muestreo absoluto con un nivel de confianza del 95%.
- % Error: error de muestreo relativo, en porcentaje.

#### Crecimiento (en altura o diametro)

- Especie: identificador de la especie utilizada en la plantación.
- N: número de individuos.
- Media: media de los valores de crecimiento de los individuos
- Desv. Tip.: desviación típica de los valores de crecimiento de los individuos.
- CV: coeficiente de variación de los valores de crecimiento de los individuos.
- Error (95%): error de muestreo absoluto con un nivel de confianza del 95%.
- % Error: error de muestreo relativo, en porcentaje.



# ELABORACIÓN DE UN PROTOCOLO PARA EL MUESTREO EN EL SEGUIMIENTO DE REPOBLACIONES FORESTALES

MÁSTER UNIVERSITARIO EN RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS

MONTE EL MADROÑO 2012

2015 Supervivencia								
Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% Error
Pino	1,120	18,95%	3		3	1		
Esparto	1000	16,92%	13		13	1		
Jara	850	14,38%	13		13	1		
Retama	655	11,08%	3		3	1		
Acebuche	550	9,31%	6	2	8	0,75		
Lentisco	450	7,61%		1	1	0		
Encina	365	6,18%		1	1	0		
Coscoja	365	6,18%		1	1	0		
Romero	270	4,57%	10		10	1		
Espino	180	3,05%			0			
Granado	60	1,02%			0			
Higuera	45	0,76%			0			
Sin identif				7	7			
Total	5.910	100,00%	48	12	60	0,8		

2015 Altura							Diametro					
Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Acebuche	6	32,42	9,91	0,31	10,40	32,09%	6	3,32	0,54	0,16	0,56	16,98%
Esparto	13	41,85	7,91	0,19	4,78	11,43%	0					
Jara	13	47,42	5,45	0,11	3,29	6,94%	13	4,52	0,69	0,15	0,42	9,21%
Pino	3	11,00	1,73	0,16	4,30	39,12%	3	2,73	0,22	0,08	0,54	19,59%
Retama	3	46,67	7,23	0,16	17,97	38,51%	0					
Romero	10	23,90	4,46	0,19	3,19	13,36%	10	3,71	1,10	0,30	0,79	21,23%

MONTE EL MADROÑO 2014

2015 Supervivencia								
Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% Error
Acebuche	405	15,88%	5	2	7	0,71		
Espino	345	13,53%	1	1	2	0,50		
Jara	330	12,94%	11	3	14	0,79		
Esparto	300	11,76%	9		9	1,00		
Retama	225	8,82%			0			
Lentisco	225	8,82%	1	2	3	0,33		
Romero	210	8,24%	14	1	15	0,93		
Pino	135	5,29%	1		1	1,00		
Coscoja	120	4,71%	2		2	1,00		
Encina	90	3,53%			0			
Granado	60	2,35%			0			
Enebro	60	2,35%			0			
Higuera	45	1,76%			0			
Sin identif				6	6	0,00		
Total	2.550	100,00%	44	15	59	0,75		

2015 Altura							Diametro					
Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Acebuche	5	19,80	7,26	0,37	9,01	45,52%	5	3,31	0,70	0,21	0,86	26,06%
Coscoja	2	12,50	2,12				2	2,42	0,80			
Esparto	9	44,17	4,97	0,11	3,82	8,66%	0					
Espino	1	23,00					1	3,28				
Jara	11	45,70	7,94	0,17	5,33	11,67%	11	3,92	0,48	0,12	0,32	8,17%
Lentisco	1	10,00					1	3,51				
Pino	1	16,00					1	2,80				
Romero	14	23,07	4,79	0,21	2,77	11,99%	14	3,38	0,60	0,18	0,34	10,20%

# ELABORACIÓN DE UN PROTOCOLO PARA EL MUESTREO EN EL SEGUIMIENTO DE REPOBLACIONES FORESTALES

MÁSTER UNIVERSITARIO EN RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS

MONTE DA CHAIRA

2013 Supervivencia								
Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% Error
Arce	450	15,34%	36	4	40	0,90		
Abedul	945	32,22%	51	5	56	0,91		
Castaño	450	15,34%	15	3	18	0,83		
Roble carb	1.088	37,10%	42	4	46	0,91		
Sin identif				16	16			
Total	2.933	100,00%	144	32	176	0,82		

2014 Supervivencia								
Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% Error
Arce	450	15,34%	25	15	40	0,63	0,15	24,00%
Abedul	945	32,22%	41	15	56	0,73	0,12	15,84%
Castaño	450	15,34%	14	4	18	0,78		
Roble carb	1.088	37,10%	39	7	46	0,85	0,10	12,24%
Sin identif				16	16			
Total	2.933	100,00%	119	57	176	0,68	0,12	17,36%

2015 Supervivencia								
Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% Error
Arce	450	15,34%	14	26	40	0,35	0,15	42,23%
Abedul	945	32,22%	8	48	56	0,14	0,09	64,16%
Castaño	450	15,34%	3	15	18	0,17		
Roble carb	1.088	37,10%	26	20	46	0,57	0,14	25,35%
Sin identif				16	16			
Total	2.933	100,00%	51	125	176	0,29	0,13	43,91%

2013 Altura							Diametro					
Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Abedul	51	64,12	21,90	0,34	6,13	9,56%	50	0,47	0,10	0,22	0,03	6,20%
Roble	40	34,05	15,66	0,46	4,95	14,54%	39	0,39	0,12	0,31	0,04	9,94%
Castaño	15	69,80	16,82	0,24	9,32	13,35%	14	0,66	0,10	0,15	0,06	8,86%
Arce	35	47,20	21,68	0,46	7,33	15,53%	35	0,52	0,09	0,18	0,03	6,03%

2014 Altura							Diametro					
Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Abedul	41	73,41	32,07	0,44	10,02	13,64%	41	0,64	0,20	0,31	0,06	9,77%
Roble	39	54,91	25,08	0,46	8,03	14,63%	39	0,50	0,15	0,30	0,05	9,49%
Castaño	14	73,29	21,82	0,30	12,60	17,19%	14	0,76	0,09	0,11	0,05	6,53%
Arce	25	55,04	32,13	0,58	13,26	24,10%	25	0,58	0,13	0,22	0,05	9,06%

2015 Altura							Diametro					
Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Abedul	8	122,75	27,05	0,22	22,62	18,43%	8	11,02	2,89	0,26	2,42	21,95%
Roble	26	91,62	32,72	0,36	13,22	14,43%	26	8,34	2,79	0,33	1,13	13,52%
Castaño	3	93,67	13,65	0,15	33,91	36,21%	3	9,34	0,56	0,06	1,40	15,01%
Arce	12	64,92	30,40	0,47	19,32	29,76%	12	6,85	2,77	0,40	1,76	25,70%

# ELABORACIÓN DE UN PROTOCOLO PARA EL MUESTREO EN EL SEGUIMIENTO DE REPOBLACIONES FORESTALES

MÁSTER UNIVERSITARIO EN RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS

## ENTRAMBASAGUAS

2014 Supervivencia								
Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% del Error
Comicabra	636	9,99%	16	4	20	0,80		
Coscoja	796	12,51%	16	5	21	0,76		
Encina	2.387	37,50%	61	26	87	0,70	0,10	13,72%
Espino	636	9,99%	9	9	18	0,50	0,23	46,20%
Olivilla	636	9,99%	16	7	23	0,70	0,19	27,03%
Retama	637	10,01%	21	7	28	0,75	0,16	21,39%
Romero	637	10,01%	19	3	22	0,86		
Sin identif				5	5			
Total	6.365	100,00%	158	66	224	0,71	0,17	23,95%

2015 Supervivencia								
Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% del Error
Comicabra	636	9,99%	12	8	20	0,60	0,21	35,78%
Coscoja	796	12,51%	16	5	21	0,76		
Encina	2.387	37,50%	76	11	87	0,87	0,07	7,99%
Espino	636	9,99%	8	10	18	0,44	0,23	51,65%
Olivilla	636	9,99%	11	12	23	0,48	0,20	42,69%
Retama	637	10,01%	31	-3	28	1,11		
Romero	637	10,01%	19	3	22	0,86		
Sin identif					5			
Total	6.365	100,00%	173	46	224	0,77	0,18	34,53%

2014 Altura							Diametro					
Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Comicabra	16	23,53	10,67	45,36%	5,69	24,16%	16	0,39	0,10	25,72%	0,05	13,70%
Coscoja	16	20,56	8,32	40,45%	4,43	21,55%	16	0,37	0,13	34,57%	0,07	18,42%
Encina	15	18,70	7,26	38,85%	4,02	21,52%	14	0,32	0,11	33,31%	0,06	19,23%
Espino	35	38,89	18,68	48,05%	6,32	16,24%	35	0,40	0,13	33,63%	0,05	11,37%
Olivilla	16	34,56	13,54	39,18%	7,21	20,87%	16	0,32	0,13	38,84%	0,07	20,69%
Retama	21	45,90	18,78	40,91%	8,55	18,62%	18	0,38	0,24	62,80%	0,12	31,23%
Romero	19	39,91	42,99	107,71%	20,72	51,92%	19	0,40	0,10	26,05%	0,05	12,56%

2015 Altura							Diametro					
Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Comicabra	12	22,72	7,33	32,28%	4,66	20,51%	12	0,31	0,10	32,00%	0,06	20,33%
Coscoja	16	25,06	7,42	29,63%	3,96	15,78%	16	0,36	0,10	27,14%	0,05	14,46%
Encina	76	17,33	6,26	36,12%	1,58	9,11%	74	0,33	0,11	33,78%	0,03	8,64%
Espino	8	21,00	7,62	36,29%	6,37	30,34%	8	0,26	0,06	22,57%	0,05	18,88%
Olivilla	11	31,82	10,62	33,37%	7,13	22,42%	11	0,40	0,10	25,33%	0,07	17,02%
Retama	31	30,73	16,10	52,38%	5,78	18,82%	27	0,24	0,10	39,84%	0,04	15,73%
Romero	19	40,14	23,76	59,18%	11,41	28,42%	19	0,52	0,26	49,91%	0,13	23,97%

## PRADO ANCHO

2015 Supervivencia								
Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% del Error
Coscoja	1501	16,27%	13	19	32	0,41	0,17	41,89%
Encina	3255	35,28%	40	39	79	0,51	0,11	21,77%
Labiernago	1001	10,85%	12	17	29	0,41	0,18	43,32%
Retama	1186	12,86%	15	18	33	0,45	0,17	37,38%
Romero	1081	11,72%	20	7	27	0,74	0,17	22,32%
Espino	1201	13,02%	15	8	23	0,65	0,19	29,85%
Sin identif			0	5	5			
Total	9225	100,00%	115	113	228	0,50	0,16	32,75%

2015 Altura							Diametro					
Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Coscoja	13	21,77	8,24	37,84%	4,98	22,87%	13	2,67	1,22	45,76%	0,74	27,65%
Encina	39	14,87	4,63	31,17%	1,48	9,98%	39	2,66	0,73	27,45%	0,23	8,79%
Labiernago	12	19,83	4,80	24,21%	3,05	15,38%	12	2,61	0,67	25,80%	0,43	16,39%
Retama	15	33,67	14,02	41,65%	7,77	23,07%	15	2,86	1,09	37,99%	0,61	21,37%
Romero	19	20,58	7,34	35,68%	3,54	17,20%	19	2,72	0,75	27,69%	0,37	13,62%
Espino	15	14,73	3,65	24,80%	2,02	13,74%	15	1,18	0,44	37,55%	0,25	20,80%

## SABINAR DE CASARES

## 2009 Supervivencia

Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% del Error
Mora	2.300	28,75%	9		9	100,00%		
Albar	2.300	28,75%	62	1	63	98,41%		
Aladiemo	1300	16,25%	15	11	26	57,69%	0,10	16,79%
Encina	1400	17,50%	1		1	100,00%		
Majuelo	700	8,75%	1		1	100,00%		
Enebro			1		1	100,00%		
Sin identif				1	1			
Total	8.000	100,00%	89	13	102	87,25%	0,10	16,79%

## 2010 Supervivencia

Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% del Error
Sabinas	4.600	57,50%	37	35	72	51,39%	0,12	22,47%
Aladiemo	1300	16,25%	2	24	26	7,69%		
Encina	1400	17,50%	0	1	1	0,00%		
Majuelo	700	8,75%	0	1	1	0,00%		
Enebro			0	1	1	0,00%		
Sin identif				1	1			
Total	8.000	100,00%	39	63	102	38,24%	0,12	22,47%

## 2011 Supervivencia

Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% del Error
Sabinas	4.600	57,50%	32	40	72	44,44%	0,11	25,83%
Aladiemo	1300	16,25%	1	25	26	3,85%		
Encina	1400	17,50%	0	1	1	0,00%		
Majuelo	700	8,75%	0	1	1	0,00%		
Enebro			0	1	1	0,00%		
Sin identif				1	1			
Total	8.000	100,00%	33	69	102	32,35%	0,11	25,83%

## 2013 Supervivencia

Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% del Error
Sabinas	4.600	57,50%	37	35	72	51,39%	0,12	22,47%
Aladiemo	1300	16,25%	1	25	26	3,85%		
Encina	1400	17,50%	0	1	1	0,00%		
Majuelo	700	8,75%	0	1	1	0,00%		
Enebro			0	1	1	0,00%		
Sin identif				1	1			
Total	8.000	100,00%	38	64	102	37,25%	0,12	22,47%

# ELABORACIÓN DE UN PROTOCOLO PARA EL MUESTREO EN EL SEGUIMIENTO DE REPOBLACIONES FORESTALES

MÁSTER UNIVERSITARIO EN RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS

## SABINAR DE CASARES

2009 Altura							Diametro					
Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Aladierno	18	16,53	15,73	95,16%	7,82	47,33%	18	0,29	0,18	63,12%	0,09	31,39%
Albar	68	14,36	4,10	28,58%	1,00	6,93%	68	0,31	0,07	23,99%	0,02	5,82%
Aulaga	1						0					
Coronilla	4	64,25	38,35	59,69%	61,08	95,06%	1	0,57				
Encina	10	15,35	8,80	57,33%	6,29	41,01%	10	0,36	0,10	26,85%	0,06	16,98%
Enebro miera	1						1					
Espino negro	1						0					
Majuelo	6	19,42	12,53	64,54%	13,15	67,74%	6	0,29	0,13	42,89%	0,10	35,02%
Mora	19	18,34	7,59	41,37%	3,66	19,94%	19	0,40	0,18	44,60%	0,08	20,47%
Quejigo	4	16,25	1,71	10,51%	2,72	16,74%	4	0,46	0,14	31,14%	0,14	31,14%
Romero	2	71,50	2,12				1	2,04				
Rosal	15	22,19	9,53	42,94%	5,28	23,78%	9	0,37	0,12	31,84%	0,08	21,23%
Tomillo	2	27,00	9,90	36,66%	88,94	329,41%	0					

2010 Altura							Diametro					
Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Aladierno	4	36,00	28,65	79,58%	45,62	126,72%	4	0,62	0,33	52,98%	0,52	84,37%
Albar	16	18,64	6,76	36,27%	3,60	19,32%	16	0,53	0,14	26,05%	0,07	13,88%
Aulaga	1	31,20					1	0,36				
Coronilla	2	88,25	46,32				2	1,61	0,88			
Encina	1	11,00					1	0,32				
Enebro miera	1	16,90					1	0,10				
Espino negro	1	7,60					1	0,16				
Lavanda	1	19,00					1	1,38				
Majuelo	4	14,33	5,14	35,86%	8,18	57,11%	4	0,25	0,07	27,98%	0,11	44,56%
Mora	8	24,24	8,97	37,01%	7,50	30,94%	8	0,51	0,19	38,01%	0,16	31,78%
Quejigo	2	10,40	9,33				2	0,39	0,32			
Romero	2	82,75	2,47				2	1,02	0,01			
Rosal	11	18,74	10,87	57,99%	7,30	38,96%	11	0,39	0,11	27,62%	0,07	18,56%
Sabina	26	17,42	3,73	21,42%	1,51	8,66%	26	0,50	0,15	29,47%	0,06	11,91%
Tomillo	4	21,68	12,51	57,70%	19,92	91,88%	4	0,38	0,11	29,91%	0,18	47,64%

2011 Altura							Diametro					
Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Aladierno	4	44,50	24,23	54,45%	38,58	86,70%	4	0,83	0,48	57,48%	0,76	91,53%
Albar	29	21,78	6,76	31,02%	2,57	11,80%	29	0,71	0,29	40,07%	0,11	15,24%
Aulaga	1	32,00					1	1,16				
Coronilla	1	56,00					1	0,97				
Encina	1	13,00					1	0,28				
Enebro miera	5	12,90	4,59	35,57%	5,70	44,15%	5	0,29	0,10	35,87%	0,13	44,53%
Espino negro	1	15,00					1	0,61				
Mora	15	29,30	8,32	28,39%	4,61	15,72%	15	0,67	0,20	29,77%	0,11	16,48%
Quejigo	2	12,00	1,41				2	0,41	0,30			
Rosal	8	23,75	20,11	84,68%	16,82	70,81%	8	0,33	0,13	38,32%	0,10	32,04%

2013 Altura							Diametro					
Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Aladierno	4	43,00	24,28	56,46%	38,66	89,91%	4	0,85	0,46	54,82%	0,74	87,30%
Albar	33	26,76	8,60	32,14%	2,99	11,19%	33	0,92	0,33	35,19%	0,11	12,25%
Coronilla	1	38,00					1	0,90				
Enebro miera	3	29,67	8,74	29,45%	21,71	73,16%	3	0,78	0,23	28,90%	0,56	71,79%
Espino negro	1	21,00					1	0,65				
Mora	17	36,47	14,29	39,19%	7,35	20,15%	17	0,88	0,26	29,87%	0,14	15,36%
Rosal	6	28,00	21,06	75,22%	22,11	78,95%	6	0,38	0,19	49,06%	0,19	51,50%

2014 Altura							Diametro					
Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Aladierno	1	41,00					1	0,42				
Albar	22	22,09	7,62	34,50%	3,38	15,30%	22	0,37	0,08	20,24%	0,03	8,98%
Enebro miera	1	14,00					1	0,96				
Mora	5	11,20	3,96	35,38%	4,92	43,92%	5	0,26	0,13	49,72%	0,16	61,73%
Rosal	11	50,73	18,22	35,92%	12,24	24,13%	11	0,35	0,09	25,46%	0,06	17,10%

## MALEZA

## 2009 Supervivencia

Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% del Error
Abedul	51	2,65%						
Haya	619	32,17%	22		22	1,00		
Fresno mont	65	3,38%						
Manzano	212	11,02%	2		2	1,00		
Roble	335	17,41%	7	1	8	0,88		
Melojo	272	14,14%	6	2	8	0,75		
Mostajo	266	13,83%	6	1	7	0,86		
Morrionera	13	0,68%						
Cerezo	41	2,13%						
Serbal	50	2,60%	2		2	1,00		
Sin identif				3				
Total	1.924	100,00%	45	4	49	0,92		

## 2010 Supervivencia

Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% del Error
Abedul	51	2,65%						
Haya	619	32,17%	7	15	22	31,82%	0,10	31,21%
Fresno mont	65	3,38%						
Manzano	212	11,02%	1	1	2	50,00%		
Roble	335	17,41%	3	5	8	37,50%		
Melojo	272	14,14%		8	8	0,00%		
Mostajo	266	13,83%	5	2	7	71,43%		
Morrionera	13	0,68%						
Cerezo	41	2,13%						
Serbal	50	2,60%	3	-1	2			
Sin identif				3	3	0,00%		
Total	1.924	100,00%	19	33	52	36,54%	0,10	31,21%

## 2011 Supervivencia

Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% del Error
Abedul	51	2,65%						
Haya	619	32,17%	8	14	22	36,36%	0,20	55,28%
Fresno mont	65	3,38%						
Manzano	212	11,02%	0	2	2	0,00%		
Roble	335	17,41%	6	2	8	75,00%		
Melojo	272	14,14%		8	8	0,00%		
Mostajo	266	13,83%	5	2	7	71,43%		
Morrionera	13	0,68%						
Cerezo	41	2,13%						
Serbal	50	2,60%	2	0	2	100,00%		
Sin identif				3	3	0,00%		
Total	1.924	100,00%	21	31	52	40,38%	0,20	55,28%

## 2013 Supervivencia

Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% del Error
Abedul	51	2,65%		0	0			
Haya	619	32,17%	7	15	22	31,82%	0,19	61,17%
Fresno mont	65	3,38%		0	0			
Manzano	212	11,02%		2	2	0,00%		
Roble	335	17,41%	24	-16	8			
Melojo	272	14,14%		8	8	0,00%		
Mostajo	266	13,83%	1	6	7	14,29%		
Morrionera	13	0,68%		0	0			
Cerezo	41	2,13%	1	-1	0			
Serbal	50	2,60%	1	1	2	50,00%		
Sin identif			2	1	3	66,67%		
Total	1.924	100,00%	36	16	52	69,23%	0,19	61,17%

# ELABORACIÓN DE UN PROTOCOLO PARA EL MUESTREO EN EL SEGUIMIENTO DE REPOBLACIONES FORESTALES

MÁSTER UNIVERSITARIO EN RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS

## MALEZA

2010   Altura							Diametro					
Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Haya	22	19,75	7,79	39,47%	3,46	17,50%	22	0,26	0,07	27,05%	0,03	11,99%
Manzano	2	15,50	0,71				2	0,26	0,07			
Mostajo	6	34,17	9,00	26,35%	9,45	27,66%	6	0,45	0,09	19,11%	0,09	20,05%
Rebollo	6	19,00	3,59	18,90%	3,77	19,84%	6	0,32	0,11	32,83%	0,11	34,46%
Roble	7	31,00	7,14	23,04%	6,60	21,31%	7	0,62	0,19	29,99%	0,17	27,74%
Serbal	2	22,00	16,97				2	0,32	0,13			

2010   Altura							Diametro					
Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Haya	7	15,79	5,74	36,38%	5,31	33,65%	7	0,25	0,06	22,69%	0,05	20,98%
Manzano	1	17,00					1	0,20				
Mostajo	5	31,80	13,07	41,09%	16,22	51,01%	5	0,43	0,10	22,49%	0,12	27,92%
Roble	3	25,00	9,17	36,66%	22,77	91,08%	3	0,26	0,03	11,25%	0,07	27,94%
Serbal	3	25,67	9,29	36,20%	23,08	89,94%	3	0,33	0,04	12,74%	0,10	31,66%

2011   Altura							Diametro					
Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Haya	8	19,38	5,77	29,77%	4,82	24,89%	8	0,33	0,15	45,43%	0,12	37,99%
Mostajo	5	26,50	6,35	23,98%	7,89	29,77%	5	0,38	0,10	26,27%	0,13	32,62%
Roble	6	17,50	10,49	59,93%	11,01	62,90%	6	0,26	0,09	33,35%	0,09	35,01%
Serbal	2	24,75	7,42				2	0,31	0,06			

2013   Altura							Diametro					
Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Haya	22	44,83	27,50	61,33%	12,19	27,20%	22	0,76	0,36	47,40%	0,16	21,02%
Fresno	1	70,00					1					
Roble	6	27,50	17,33	63,02%	18,19	66,14%	6	0,32	0,23	70,27%	0,24	73,76%
Serbal	1	36,00					1	0,52				

# ELABORACIÓN DE UN PROTOCOLO PARA EL MUESTREO EN EL SEGUIMIENTO DE REPOBLACIONES FORESTALES

MÁSTER UNIVERSITARIO EN RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS

LAS SERREZUELAS

2013 Supervivencia

Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% Error
Majuelo	88	3,92%	2	0	2	1,00		
Pino resinero	1452	64,68%	28	0	28	1,00		
Quejigo	555	24,72%	14	0	14	1,00		
Rosal	150	6,68%	1	0	1	1,00		
Sin identif				0	0			
Total	2.245	100,00%	45	0	45	1,00		

2014 Supervivencia

Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% Error
Majuelo	88	3,92%	1	1	2	0,50		
Pino resinero	1452	64,68%	12	16	28	0,43	0,18	42,77%
Quejigo	555	24,72%	12	2	14	0,86		
Rosal	150	6,68%	1	0	1	1,00		
Sin identif				0	0			
Total	2.245	100,00%	26	19	45	0,58	0,18	42,77%

2015 Supervivencia

Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% Error
Majuelo	88	3,92%	1	1	2	0,50		
Pino resinero	1452	64,68%	9	19	28	0,32	0,17	53,82%
Quejigo	555	24,72%	9	5	14	0,64		
Rosal	150	6,68%	1	0	1	1,00		
Sin identif				0	0			
Total	2.245	100,00%	20	25	45	0,44	0,17	53,82%

2013 Altura

Especie	Altura						Diametro					
	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Majuelo	2	25,50	16,26				2	0,32	0,06			
Pino	28	9,43	2,83	30,06%	1,10	11,66%	28	0,34	0,08	21,93%	0,03	8,51%
Quejigo	14	8,36	2,79	33,39%	1,61	19,27%	14	0,36	0,06	17,94%	0,04	9,84%
Rosal	1	33,00					1	1,13				

2014 Altura

Especie	Altura						Diametro					
	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Majuelo	1	29,00					1	0,50				
Pino	12	13,42	4,94	36,82%	3,14	23,39%	12	0,40	0,11	27,08%	2,26%	5,66%
Quejigo	12	7,13	3,32	46,56%	2,11	29,58%	12	0,34	0,11	33,28%	2,77%	8,23%
Rosal	1	37,00					1	1,14				

2015 Altura

Especie	Altura						Diametro					
	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Majuelo	1	29,50					1	0,52				
Pino	9	19,72	5,35	27,10%	4,11	20,83%	12	0,50	0,12	24,67%	0,08	16,42%
Quejigo	9	6,28	2,87	45,77%	2,21	35,18%	12	0,29	0,08	28,30%	0,05	18,84%
Rosal	1	31,50					1	0,34				



MIÑO

## 2013 Supervivencia

Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% del Error
Abedul	75	9,38%	17	0	17	1,00		
Arce	65	8,13%	0	0	0			
Avellano	75	9,38%	17	0	17	1,00		
Castaño	70	8,75%	0	0	0			
Falso plátano	50	6,25%	5	0	5	1,00		
Laurel	30	3,75%	0	0	0			
Madroño	100	12,50%	15	0	15	1,00		
Majuelo	50	6,25%	5	0	5	1,00		
Peral	65	8,13%	7	0	7	1,00		
Roble carb	220	27,50%	0	0	0			
Sin identif				0	0			
Total	800	100,00%	66	0	66	1,00		

## 2015 Supervivencia

Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	Estimación	Error (95%)	% del Error
Abedul	75	9,38%	18	-1	17			
Arce	65	8,13%	0	0	0			
Avellano	75	9,38%	9	8	17	0,53	0,24	44,82%
Castaño	70	8,75%	0	0	0			
Falso plátano	50	6,25%	8	-3	5			
Laurel	30	3,75%	0	0	0			
Madroño	100	12,50%	7	10	17	0,41	0,23	56,82%
Majuelo	50	6,25%	6	-1	5			
Peral	65	8,13%	5	2	7	0,71		
Roble carb	220	27,50%	0	0	0			
Sin identif			3	-3	0			
Total	800	100,00%	56	12	68	0,82	0,24	50,82%

## 2013 Altura

Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Abedul	17	88,88	49,12	55,26%	25,25	28,41%	17	0,62	0,23	37,50%	0,12	19,28%
Arce	17	59,62	23,68	39,72%	12,18	20,42%	17	0,57	0,23	40,22%	0,12	20,68%
Falso plátano	5	80,00	13,82	17,28%	17,16	21,45%	5	0,59	0,08	12,74%	0,09	15,82%
Madroño	15	48,07	12,06	25,08%	6,68	13,89%	15	0,45	0,15	33,50%	0,08	18,55%
Majuelo	5	60,60	14,52	23,96%	18,02	29,74%	5	0,60	0,05	8,73%	0,07	10,84%
Peral	7	87,57	18,44	21,05%	17,05	19,47%	7	0,79	0,18	22,75%	0,17	21,04%

## 2015 Altura

Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Abedul	18	312,17	59,06	18,92%	29,37	9,41%	18	37,04	12,64	34,13%	6,29	16,97%
Arce	8	161,75	41,99	25,96%	35,11	21,71%	8	14,61	4,84	33,10%	4,04	27,68%
Avellano	9	160,44	29,59	18,44%	22,75	14,18%	9	14,40	3,71	25,75%	2,85	19,79%
Madroño	7	216,57	84,27	38,91%	77,94	35,99%	7	34,89	11,26	32,28%	10,42	29,86%
Majuelo	6	134,67	42,11	31,27%	44,20	32,82%	6	7,50	2,68	35,76%	2,81	37,53%
Peral	5	142,00	29,73	20,94%	36,91	25,99%	5	18,85	10,63	56,39%	13,19	70,00%
Roble americ	3	114,33	59,28	51,85%	147,28	128,81%	3	11,24	6,71	59,74%	16,68	148,41%

*Anexo II. Datos de validación de la metodología*

## MONTE DA CHAIRA

2016

Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	% Superviven	Error (95%)	% Error
Arce	450	15,34%	3	1	4	0,75	0,22	28,87%
Abedul	945	32,22%	7	15	22	0,32	0,10	31,21%
Castaño	450	15,34%	1	10	11	0,09	0,09	95,35%
Roble	1.088	37,10%	33	10	43	0,77	0,06	8,39%
Sin ID				76	76			
Total	2.933	100,00%	44	112	156	0,48	0,12	40,95%

2016

Altura							Diametro					
Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Abedul	6	175,67	23,13	13,17%	24,28	13,82%	6	16,43	3,73	22,70%	3,92	23,83%
Roble	15	105,47	28,58	27,10%	15,83	15,01%	15	10,80	4,35	40,28%	2,41	22,31%
Arce	1											

## ENTRAMBASAGUAS

2016

Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	Total	% Superviven	Error (95%)	% del Error
Cornicabra	636	9,99%	5	0	5	1,00	0,00	0,00%
Coscoja	796	12,51%	5	0	5	1,00	0,00	0,00%
Encina	2.387	37,50%	24	8	32	0,75	0,08	10,21%
Espino	636	9,99%	2	0	2	1,00	0,00	0,00%
Olivilla	636	9,99%	7	0	7	1,00	0,00	0,00%
Retama	637	10,01%	4	3	7	0,57	0,19	32,73%
Romero	637	10,01%	6	2	8	0,75	0,15	20,41%
Sin ID				11	11			
Total	6.365	100,00%	48	24	72	0,85	0,07	10,56%

2016

Altura							Diametro					
Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Cornicabra	2	46,25	10,96	23,70%	17,06	36,88%	2	8,12	2,02	24,91%	3,15	38,76%
Coscoja	1											
Encina	7	34,93	11,00	31,50%	9,15	26,19%	6	5,17	1,54	29,70%	1,38	26,68%
Espino												
Olivilla	2	44,50	27,58	61,97%	43,45	97,63%	1	5,38				
Retama	1											
Romero	1											

## PRADO ANCHO

2016

Especie	Introducidas	%	Vivas	Muertas	TOTAL	% Superviven	Error (95%)	% del Error
Coscoja	1501	16,27%	3	5	8	0,38	0,17	45,64%
Encina	3255	35,28%	17	14	31	0,55	0,09	16,30%
Labiernago	1001	10,85%	4	4	8	0,50	0,18	35,36%
Retama	1186	12,86%	6	4	10	0,60	0,15	25,82%
Romero	1081	11,72%	8	2	10	0,80	0,13	15,81%
Espino	1201	13,02%	3	2	5	0,60	0,22	36,51%
Sin ID			0	5	5			
Total	9225	100,00%	41	36	77	0,57	0,16	29,24%

2016

Altura							Diametro					
Especie	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error	N	Media	Desv.tip	CV	Error (95%)	% de Error
Coscoja	2	34,00	1,41	4,16%	12,71	37,37%	2	3,11	0,34	10,91%	3,05	98,05%
Encina	4	15,75	5,38	34,14%	8,56	54,37%	4	3,08	1,09	35,37%	1,73	56,33%
Romero	5	34,80	11,23	32,28%	13,95	40,08%	5	4,99	1,95	39,02%	2,42	48,44%

## MUESTREO DE PLANTACIONES FORESTALES

[illegible]

## *Anexo IV. Protocolo de cálculo de los tamaños de muestra*

1. VARIABLES: definir las variables de análisis y determinar su variabilidad relacionando error de muestreo, obteniendo un tamaño de muestra (3.2.1).

2. EPMR: definir cuál es el porcentaje de representación que se utiliza como base del cálculo para el tamaño de muestra (4.2.1). 3 escenarios posibles:

- No hay especie principal representada en más de un 20% (4.2.1.1). 4 opciones:
  - Se utiliza el porcentaje de la EPMR, a pesar de que sea menor del 20%
  - Se disminuye el esfuerzo de muestreo y únicamente se muestrea la variable *Supervivencia*.
  - Se agrupan las especies por características similares y se muestrean conjuntamente.
  - No se muestrea la plantación
- Hay una especie principal representada en más de un 20% (4.2.1.2). 2 opciones:
  - Su % es mayor del 25%: se utiliza 25% como base de cálculo.
  - Su % es menor del 25%: se utiliza su % de representación.
- Hay más de una especie principal representada en más de un 20% (4.2.1.3).
  - Se utiliza el % de representación de la EPMR

3. MORTALIDAD: definir el valor de mortalidad que se utilizará en función de la edad de la plantación:

- Menos de 2 años: 50% de mortalidad estimada
- Más de 2 años. 2 opciones:
  - Con muestreos previos: valor de mortalidad del 2º año + 10%
  - Sin muestreos previos: muestreo piloto del 0.4% de la superficie total.

4. Seleccionar el tipo de distribución de la muestra tal y como está explicado en el Apartado 4.2.3 e insertar los datos en la Tabla 5 si se muestrea con parcelas y en la Tabla 6 si se muestrea con transectos. Los valores *% de representación* y *Mortalidad* deben introducirse en tanto por uno, mientras que la *Densidad* se introducirá en pies/ha

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	VARIAR TAMAÑO PARCELAS								
2	INFORMACIÓN INICIAL					RESULTADOS			
3	Tamaño muestra inicial	% de representación	Mortalidad	N.º de parcelas	Densidad	Tamaño muestra final	Área total de muestreo	Área de parcela	Radio de parcela
4						$=A4/(B4*(1-C4))$	$=F4/(E4/10000)$	$=G4/D4$	$=RAIZ((H4)/3,1416)$

	A	B	C	D	E	F	G
1	VARIAR NÚMERO PARCELAS						
2	INFORMACIÓN INICIAL				RESULTADOS		
3	Tamaño muestra	% de representación	Mortalidad	Densidad	Tamaño muestra final	N.º parcelas	Tamaño parcelas
4					$=A4/(B4*(1-C4))$	$=E4/15$	$=RAIZ((15/(D4/10000))/3,1416)$

Tabla 5: Cálculo del número y tamaño de parcelas

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	VARIAR TAMAÑO TRANSECTOS							
2	INFORMACIÓN INICIAL					RESULTADOS		
3	Tamaño muestra inicial	% de representación	Mortalidad	N.º de transectos	Separación entre plantas de la misma línea(m)	Tamaño muestra final	Longitud total de muestreo	Longitud del transecto
4						$=A4/(B4*(1-C4))$	$=F4*E4$	$=G4/D4$

	A	B	C	D	E	F	G
1	VARIAR NÚMERO TRANSECTOS						
2	INFORMACIÓN INICIAL				RESULTADOS		
3	Tamaño muestra	% de representación	Mortalidad	Separación entre plantas de la misma línea(m)	Tamaño muestra final	N.º transectos	Longitud del transecto
4					$=A4/(B4*(1-C4))$	$=E4/15$	$=(E4*D4)/F4$

Tabla 6: Cálculo del número y tamaño de parcelas

## *Anexo V. Cálculo de los estimadores*

### Variables de crecimiento

Una población es un conjunto de elementos perfectamente identificables y no superpuestos objeto de estudio. El tamaño de la población, es decir, el número total de individuos o elementos queda representado por  $N$ .

Una muestra es un subconjunto de la población sobre el que se toman los datos y se mide la variable  $x$ . Cada elemento de la población que se incluye dentro de la muestra es una unidad muestral o unidad de muestreo. En el caso concreto de este proyecto la unidad muestral es la planta, ya que las variables de la población que se quieren estimar están asociadas al propio individuo.

El tamaño de muestra está representado por  $n$ , y define el número de elementos de la población que incluye la muestra. El tamaño de muestra y el tamaño de la población se relacionan mediante la fracción de muestreo ( $n/N$ ), que es la proporción de población que incluye la muestra. Una población (finita) será considerada infinita cuando su tamaño sea desconocido o, aún siendo conocido, sea mucho mayor que la muestra. Para esto se considerará que  $N$  es mucho mayor que  $n$  cuando se muestree menos del 5% de la población ( $n/N \leq 0,05$ ).

Una muestra está asociada a unos estimadores o estadísticos, números que se pueden calcular a partir de los datos de la muestra y se utilizan para estimar un parámetro desconocido de la población. De esta forma, para estimar la media aritmética poblacional ( $\mu$ ) de los valores de  $x$  se utiliza el estadístico o estimador de la media aritmética muestral. De esta forma se pueden definir los siguientes estimadores, de gran utilidad para caracterizar la naturaleza de la muestra.

#### Media aritmética muestral:

Se define como el promedio de los posibles valores de la variable  $x$ ,

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

#### Desviación típica muestral:

Se define como la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de las desviaciones de

todos los valores de la variable respecto a su media,

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Coeficiente de variación muestral :

Cuantifica la desviación típica de la variable x en relación a su media,

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$$

Error de muestreo absoluto:

Se define como la diferencia de valores entre el estimador de la media muestral y el valor de la media poblacional.

$$E = (\bar{x} - \mu)$$

Dado que no se puede conocer el valor de la media poblacional, el error de muestreo acota el valor obtenido en la media muestral representando mediante un nivel de confianza o probabilidad fiducial el error máximo cometido en la estimación. La fiabilidad del estimador se ve muy afectada por el tamaño de muestra y la variabilidad poblacional. A su vez, la fórmula del cálculo del error absoluto es variable con el tamaño de la población a describir:

- Para poblaciones infinitas:

- Si  $n \geq 30$ , el error de muestreo absoluto viene dado por:

$$E = \pm 2 \cdot \left( \frac{s}{\sqrt{n}} \right)$$

- Si  $n < 30$ , el error de muestreo absoluto viene dado por:

$$E = \pm t \cdot \left( \frac{s}{\sqrt{n}} \right)$$

- Para poblaciones finitas:

- Si  $n \geq 30$ , el error de muestreo absoluto viene dado por:

$$E = \pm 2 \cdot \left( \frac{s}{\sqrt{n}} \right) \sqrt{1 - \frac{n}{N}}$$

- Si  $n < 30$ , el error de muestreo absoluto viene dado por:

$$E = \pm t \cdot \left( \frac{s}{\sqrt{n}} \right) \sqrt{1 - \frac{n}{N}}$$

En el caso de que el tamaño de muestra sea menor de 30 el estimador no seguirá una distribución normal y se tendrá que sustituir el 2 por el valor crítico de la distribución  $t$  de Student, donde se utilizará un nivel de confianza del 95% y  $n-1$  grados de libertad (Anexo VI).

Error de muestreo relativo:

Se define como el cociente entre el valor Error absoluto y la Media muestral,

$$\varepsilon = \left( \frac{E}{\bar{x}} \right) \cdot 100$$

Variable de supervivencia

Estimador de supervivencia:

$$S = \frac{\text{vivos}}{\text{vivos} + \text{muertos}}$$

Se considera que la distribución muestral de las proporciones observadas se aproxima satisfactoriamente a una distribución Normal con media  $S$  y varianza  $S(1-S)/n$  cuando las muestras cumplen las condiciones de “muestras grandes”:

$$n \cdot S \geq 5$$

$$n \cdot (1 - S) \geq 5$$

Si la muestra no es grande la aproximación mediante la distribución Normal no es válida y se debe realizar una estimación por intervalo según la ley Binomial, método que implica



calcular los límites de un intervalo que excluya a las proporciones más extremas de la distribución (Domenech Massons, 1991). En los datos que alimentan el protocolo no se han considerado las muestras pequeñas dentro del análisis, pero en el Anexo VIII se puede encontrar la metodología que se debe emplear para hallar el error de muestreo.

#### Error absoluto:

En el caso de muestras grandes el Error Estándar se puede obtener mediante la fórmula

$$E = z_{\alpha/2} \cdot \sqrt{\frac{S \cdot (1 - S)}{n}}$$

donde  $z_{\alpha/2}$ , es el valor que se obtiene de la tabla de valores  $z_{\alpha/2}$  de la ley Normal, que con una probabilidad fiducial del 95% tiene un valor de 1,96 (Anexo VII).

#### Error relativo:

El error relativo cuantifica el Error estándar respecto al estimador de supervivencia.

$$\varepsilon = \left( \frac{E}{S} \right) \cdot 100$$

## Anexo VI. Tabla t de Student

Grados de libertad	Posibilidad P de la cola de la derecha					
	0.25	0.1	0.05	0,025	0.01	0,005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
50	0.6794	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
60	0.6786	1.2958	1.6706	2.0003	2.3901	2.6603
70	0.6780	1.2938	1.6669	1.9944	2.3808	2.6479
80	0.6776	1.2922	1.6641	1.9901	2.3739	2.6387
90	0.6772	1.2910	1.6620	1.9867	2.3685	2.6316
100	0.6770	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259
z	0.6745	1.2816	1.6449	1.9600	2.3263	2.5758
	50%	80%	90%	95%	98%	99%
	Nivel de confianza o probabilidad fiducial					

## Anexo VII. Tabla de Valores $z_{\alpha/2}$ de la ley Normal

$\alpha/2$	0,25	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005
Intervalo de confianza	50%	75%	90%	95%	98%	99%
$z_{\alpha/2}$	0,674	1,15	1,645	1,96	2,326	2,576

### Anexo VIII. Ley Binomial

Cuando las muestras son pequeñas se debe utilizar la ley Binomial para modelar la distribución muestral. Para esto se debe confeccionar un intervalo de confianza que excluya las proporciones observadas más extremas, dado que la distribución muestral no es continua ni simétrica, excepto cuando  $S=(S-1)=0,5$ . Las probabilidades de cada proporción se obtienen mediante la fórmula de cálculo de probabilidad de la ley Binomial:

$$B(n; S) \rightarrow p(k) = \frac{n!}{k! \cdot (n-k)!} \cdot S^k \cdot (1-S)^{n-k}$$

*Ecuación 2: Cálculo de la probabilidad de la ley Binomial*

donde  $n$  es el tamaño de muestra,  $S$  es la proporción de individuos vivos,  $p$  la probabilidad de supervivencia para un determinado número  $k$  de individuos vivos.

La determinación consiste en calcular todos los posibles intervalos procurando que excluyan por ambos extremos análoga proporción de casos. En la Tabla 7 se recogen las correspondientes probabilidades  $p(S=k)$ , así como las probabilidades  $p(S \leq k)$  acumuladas desde la cola izquierda y las probabilidades  $p(S \geq k)$  acumuladas desde la cola derecha de la distribución. Por ejemplo, tomando el caso de  $B(10; 0.60)$ , si se elige 3 ( $p=0.3$ ) como límite inferior del intervalo, éste deja fuera una proporción de casos:

$$p(S < 3) = 0.0001 + 0.0016 + 0.0106 = 0.0123 \text{ (1,23\%)}$$

S	(p)	p(S=k)	p(S≤k)	p(S≥k)
0	(0.0)	0.0001	0.0001	1,0000
1	(0.1)	0.0016	0.0017	0.9999
2	(0.2)	0.0106	0.0123	0.9983
3	(0.3)	0.0425	0.0548	0.9877
4	(0.4)	0.1115	0.1663	0.9452
5	(0.5)	0.2007	0.3670	0.8337
6	(0.6)	0.2508	0.6178	0.6330
7	(0.7)	0.2150	0.8328	0.3822
8	(0.8)	0.1209	0.9537	0.1672
9	(0.9)	0.0403	0.9940	0.0463
10	(1.0)	0.0060	1,0000	0,0000

Tabla 7: Probabilidades para  $B(10;0.60)$

De esta forma, se deberá calcular la proporción que deja fuera la *ley Binomial* en cada una de las colas de la distribución. En la Tabla *t de Student* del Anexo IV se pueden encontrar las probabilidades  $p$  de la cola de la derecha que se deben dejar fuera para determinado intervalo de confianza. Por ejemplo, para un intervalo del 95% se deben dejar fuera una proporción del 0.025 de los casos en cada cola de distribución. Sabiendo la  $p$  que corresponde dicha proporción se pueden conocer los límites del intervalo de confianza para una determinada  $S$ .

## Anexo IX. Documentación complementaria

D. Juan A. Oliet Palá

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado ELABORACIÓN DE UN PROTOCOLO PARA EL MUESTREO EN EL SEGUIMIENTO DE REPOBLACIONES FORESTALES ha sido realizado bajo mi dirección y tutorización académica por el alumno D.Brais Hermosilla Lorenzo

En Madrid, 30 de septiembre de 2016



Firmado: Juan A. Oliet Palá

Dña. María Melero De Blas

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado ELABORACIÓN DE UN PROTOCOLO PARA EL MUESTREO EN EL SEGUIMIENTO DE REPOBLACIONES FORESTALES ha sido realizado bajo mi dirección por el alumno D.Brais Hermosilla Lorenzo

En Madrid, 30 de septiembre de 2016



Firmado: María Melero De Blas

**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA INCLUSIÓN DEL TRABAJO DE FIN DE MASTER EN  
LOS ARCHIVO ABIERTOS INSTITUCIONALES DE LAS UNIVERSIDADES QUE IMPARTEN LA TITULACIÓN**

**TÍTULO DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER:**

**ELABORACIÓN DE UN PROTOCOLO PARA EL MUESTREO EN EL  
SEGUIMIENTO DE PLANTACIONES FORESTALES**

**1.- ESTUDIANTE (AUTOR)**

<b>APELLIDOS Y NOMBRE:</b> <b>BRAIS HERMOSILLA LORENZO</b>	<b>DNI:</b> <b>72732731S</b>
<b>TITULACIÓN:</b> <b>Máster Universitario en</b> <b>RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS</b>	

**2.- TUTOR DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER**

<b>APELLIDOS Y NOMBRE:</b> <b>JUAN A. OLIET PALÁ</b>	<b>DNI:</b> <b>05265058J</b>
<b>DEPARTAMENTO O INSTITUCIÓN:</b> <b>SISTEMAS Y RECURSOS NATURALES UPM</b>	

**Los abajo firmantes:**

- ☒ AUTORIZAN  
☐ NO AUTORIZAN

El depósito y puesta a disposición del Trabajo Fin de Máster en los Repositorios Institucionales de las Universidades que imparten la titulación, de acceso libre y gratuito a través de Internet, y otorgando las condiciones de uso de la licencia Creative Commons *reconocimiento-uso no comercial-sin obra derivada*.

Más información en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/deed.es>

<b>Firmado: El Autor</b> 	<b>Firmado: El Tutor del Trabajo Fin de Máster</b> 
---	--